

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAROLINE AMORIM DA SILVA

AValiação dos efeitos combinados de ruído rodoviário e
industrial através de mapeamento acústico

CURITIBA

2019

CAROLINE AMORIM DA SILVA

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS COMBINADOS DE RUÍDO RODOVIÁRIO E
INDUSTRIAL ATRAVÉS DE MAPEAMENTO ACÚSTICO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de concentração de Fenômenos de Transporte e Mecânica dos Sólidos.

Orientador: Prof. Titular Dr. -Ing. Paulo H. T. Zannin

CURITIBA

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

- S586a Silva, Caroline Amorim da
Avaliação dos efeitos combinados de ruído rodoviário e industrial através de mapeamento acústico [recurso eletrônico] / Caroline Amorim da Silva – Curitiba, 2019.
- Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica.
Orientador: Dr. Paulo Henrique Trombetta Zannin
1. Poluição sonora. 2. Ruído rodoviário. 3. Barreira acústica. I. Universidade Federal do Paraná. II. Zannin, Paulo Henrique Trombetta. III. Título.

CDD: 620.23

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA MECÂNICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **CAROLINE AMORIM DA SILVA** intitulada: **AVALIAÇÃO DOS EFEITOS COMBINADOS DE RUÍDO RODOVIÁRIO E INDUSTRIAL ATRAVÉS DE MAPEAMENTO ACÚSTICO**, que após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 20 de Setembro de 2019.



PAULO HENRIQUE TROMBETTA ZANNIN

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



NILSON BARBIERI

Avaliador Externo (PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ)



MARCUS VINICIUS MANFRIN DE OLIVEIRA FILHO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE POSITIVO)

Dedico este trabalho à minha avó Brandina. Mulher de fibra e guerreira, fez de seu ofício – a educação – uma tendência: uma diversidade de educadores na família! Avó querida, obrigada pelo incentivo e inspiração!

In memoriam

AGRADECIMENTOS

Posso afirmar, sem uma centelha de dúvida, que esse mestrado não só me tomou apenas o suor, as lágrimas e o sangue; tomou também daqueles que me cercam. Se nenhum homem é uma ilha, eu tenho a plena certeza que sou um arquipélago.

Meus agradecimentos:

Àqueles que dou a vida, que procuro ser exemplo a ser seguido; meus filhos, João Vitor e Luís: obrigada por serem a energia que me move.

Àquele que não contente em me acompanhar, ainda me escolta, me sustenta e me impulsiona; meu marido, Jader: obrigada por ser a chama que me mantém acesa.

Àqueles que me deram o mundo, que sofrem as minhas dores, vivem minhas conquistas e me oferecem amor sempre; meus pais, Maria e Carlos: obrigada pelas direções.

Àquele que ouviu meu sofrimento, me compreendeu e me apoiou; meu querido orientador, Prof. Dr. -Ing. Paulo H. T. Zannin: obrigada pelo amparo, pelo zelo e por nunca ter desistido de mim.

Ao Sr. Alexandre Barbosa Baptista, que nunca se cansou de me auxiliar, ensinar e prestar socorro, e que sempre foi muito competente, gentil e paciente: obrigada pelas orientações.

Ao grande, querido e sábio amigo Julio Otavio Herrmann, que foi meu aliado nas medições, tutor na degustação de um bom café, sempre disposto a conversar e servir de ombro: obrigada pelo carinho e por todas nossos bate papos que tanto me aliviaram as angústias.

Ao igualmente grande, querido e sábio amigo Eriberto Oliveira do Nascimento, que foi meu parceiro em todas as etapas do trabalho, que sempre riu das minhas piadas e nunca mediu esforços em contribuir com a melhoria deste trabalho: obrigada pelo convívio, pela paciência e pelas direções certeiras.

Aos divertidos amigos Thomas Jeferson Vieira e Daniel de Oliveira e Souza, que sempre estiveram presentes e nunca deixaram de rir comigo ou de mim: obrigada pelos bons momentos.

Aos amigos de longa data, Ana Paula Imai, Bruno Fernandes de Oliveira e Daisy Carolina Taveres Ribeiro, por tudo; vocês nunca me deixaram na mão: obrigada por estarem presentes mesmo quando distantes.

A todos os colegas do Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico da Universidade Federal do Paraná, meu muito obrigada: a corrente só é forte graças aos elos.

Aos demais que estiveram presentes durante a elaboração desse trabalho, pois sem vocês eu não teria conseguido: muito obrigada a todos.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa durante parte da realização desse mestrado.

だってばよ!

“Eu não vou fugir e eu nunca vou voltar atrás na minha palavra, este é o meu *nindō*!
Meu jeito ninja!”

– Uzumaki, Naruto

RESUMO

O ruído ambiental é uma das maiores reclamações quando se trata do ambiente. O número de pessoas afetadas aumenta no mesmo ritmo do progresso. O ruído rodoviário, ferroviário, aeroviário, industrial, oriundo da construção ou mesmo ainda de vizinhança, são complexos e difíceis de se avaliar individualmente. Por esse motivo, o ruído ambiental é objeto de diversos estudos que buscam avaliá-lo, identificá-lo e monitorá-lo. Este trabalho teve como objetivo avaliar a composição da poluição sonora resultante dos ruídos rodoviário e industrial em uma região do bairro Cidade Industrial do Município de Curitiba. Para este fim, 3 soluções mitigadoras foram simuladas: a) Redução de 90% da frota de veículos pesados; b) Redução de 25% da frota total de veículos; c) Aplicação de barreiras acústicas para a redução do ruído que atinge as zonas sensíveis – escolas e hospitais. A metodologia consistiu na caracterização da área de estudo; seguida da coleta de dados de campo, que foram a medição dos níveis de pressão sonora equivalente – Leq; o fluxo de veículos por hora (veículos leves, pesados); as características das vias e das fontes sonoras industriais. De posse das medições e dos dados de entrada para o software SoundPlan, os mapas de ruído foram calculados. Posteriormente, os dados calculados foram confrontados com os dados medidos para se fazer a calibração dos mapas acústicos. Após a validação dos mapas, estimou-se o crescimento da frota de veículos em 30 anos, com intervalos de 5 anos. Verificou-se então a viabilidade das soluções propostas visando atender a legislação vigente e a recomendação da NBR 10151:2019. Os resultados evidenciaram que nas medições realizadas in situ, a maior parte dos pontos de controle estão acima do permitido por lei, sendo 17 de um total de 21. Na avaliação dos mapas de ruído, quanto à composição do ruído rodoviário e industrial, 18 pontos de 21 estão além do permitido por lei; sendo que nenhuma das zonas sensíveis – escolas e hospitais – têm seu direito ao silêncio assegurado. O ruído rodoviário, quando avaliado individualmente, teve 17 de 21 pontos de controle acima do permitido pela legislação vigente. Em comparação, quando avaliado individualmente, o ruído industrial não se mostrou uma fonte com elevados níveis sonoros, haja visto que todos os pontos de controle estão abaixo do permitido. Com isso, constatou-se que o ruído rodoviário é o maior causador da poluição sonora, quando comparado ao ruído industrial. Analisado o crescimento da frota de veículos, atestou-se a progressão do problema. Todavia, as soluções propostas que pautam a redução do fluxo de veículos, sejam eles pesados ou leves, não se mostraram efetivas. No entanto, a aplicação de barreiras acústicas no entorno de escolas e hospitais, variando-se a altura das mesmas, e sendo elas compostas por tijolos cerâmicos, revelou-se adequada, alcançando 26 pontos de 28 dentro do limite permitido pela legislação. Conclui-se que os resultados apresentados estão em concordância com a literatura e, ainda, que a metodologia proposta neste trabalho pode ser reproduzida em outras regiões, visando analisar os ruídos rodoviário e industrial de forma combinada e/ou individual.

Palavras chave: Poluição sonora. Ruído rodoviário. Ruído industrial. Mapa de ruído. Barreira acústica.

ABSTRACT

Environmental Noise is one of the top complaints when it comes to the environment. The number of people affected increases as economic development progresses. When conjoined, the noises resulting from road traffic, railway, air traffic, industries, constructions, and also from neighborhoods themselves are hard to map individually. For this reason, environmental noise is the subject of several studies attempting to examine, identify, and monitor it. The present work had as its objective to examine the composition of noise pollution resulting from road traffic and industrial noises in a region of the neighborhood Cidade Industrial of the Curitiba City. With this, three minimizing solutions were applied, which were a) 90% reduction in the heavy vehicle fleet; b) Reduction of 25% of the total vehicle fleet; c) Application of noise barriers for noise reduction in sensitive areas - schools and hospitals. The methodology consisted in characterizing the field of study, followed by the collection of data from the area at the same time that levels of equivalent noise pressure were measured, beside the vehicle flow per hour (light, heavy vehicles), the characteristics of the tracks and industrial sound sources. With the measurements and input data for the SoundPlan software, noise maps were calculated. The calculated data were compared with the measured data to calibrate the acoustic maps. With the measures and remaining entry data in hand, noise maps were elaborated and then validated. After the maps were adjusted, the growth in the number of vehicles in the region was estimated for 30 years with 5 years intervals. Following this step, the viability of proposed solutions observing the current legislation and regulatory standards was verified. The results demonstrated that in the measuring carried out in situ, most control points are above the legal limit, 17 out of a total of 21. Examining the noise maps regarding the composition of road traffic and industrial noises, 18 control points out of 21 surpass the legal limit, with none of the sensible zones having its silence assured. The road traffic noise, when individually assessed, had 17 out of 21 control points above the legal limit. In comparison, the industrial noise, when assessed individually, has not revealed itself an intense source of noise, with all the control points showing results below the legal limit. The work concludes that road traffic noise is the main cause of noise pollution when compared with industrial noise. Analyzing the increase in the number of vehicles in the region demonstrated that the problem had worsened. However, proposed solutions that focus on reducing the number of vehicles, heavy or light, have not been effective. The introduction of acoustic barriers around schools and hospitals with different heights and made of ceramic bricks has revealed itself adequate, maintaining 26 control points in a total of 28 inside the legal limit. It can be concluded that the results presented are in agreement with the literature and also that the methodology proposed in this work can be reproduced in other regions with the purpose of assessing road traffic and industrial noises, conjoined or individually.

Keywords: Noise pollution. Road traffic noise. Industrial noise. Noise map. Acoustic barriers.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – COMPARAÇÃO DA ESCALA LINEAR E LOGARITMICA	23
FIGURA 2 - REFLEXÃO DE ONDAS SONORAS	28
FIGURA 3 - EFEITOS FÍSICOS DE UMA BARREIRA ACÚSTICA.....	29
FIGURA 4 – ORIGEM, TRAJETÓRIA E DESTINO DO RUÍDO	30
FIGURA 5 - RUÍDO TRANSMITIDO POR AR E ESTRUTURA.....	31
FIGURA 6 – CAMINHOS DE DIFRAÇÃO NUMA BARREIRA ACÚSTICA	39
FIGURA 7 – CONFIGURAÇÃO GEOMÉTRICA NO CÁLCULO DE ATENUAÇÃO COM BARREIRA.....	40
FIGURA 8 – CÁLCULO DA DIFERENÇA PARA MÚLTIPLOS CAMINHOS DE DIFRAÇÃO.....	40
FIGURA 9 - ESTRATIFICAÇÃO PERCENTUAL DAS FONTES DE RUÍDO E SEU INCÔMODO	47
FIGURA 10 – RESPOSTA AO INCÔMODO GERADO PELO RUÍDO INDUSTRIAL E RODOVIÁRIO	50
FIGURA 11 – ÁREA DE ESTUDO NO MAPA DE ZONEAMENTO CONSOLIDADO	57
FIGURA 12 – PONTOS CRÍTICOS, INDÚSTRIAS E VIAS ANALISADAS	59
FIGURA 13 – ESQUEMA DE MEDIÇÃO DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA	61
FIGURA 14 – INTERFACE SOUNDPLAN 8.0: INSERÇÃO DE DADOS DE ENTRADA DAS INDÚSTRIAS	63
FIGURA 15 – MAPA DE IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO <i>IN SITU</i>	64
FIGURA 16 – MAPA DE IDENTIFICAÇÃO DOS RECEPTORES VIRTUAIS	67
FIGURA 17 – BIBLIOTECA DO SOUNDPLAN 8.0: α_{BRICK}	68
FIGURA 18 – CONTAGEM DE VEÍCULOS NO PONTOS DE MEDIÇÃO	71
FIGURA 19 – AJUSTE LINEAR PARA O CRESCIMENTO DA FROTA VEICULAR	77
FIGURA 20 – PONTOS DA BARREIRA ACÚSTICA: UBS CAMPO ALEGRE.....	82
FIGURA 21 – PONTOS DA BARREIRA ACÚSTICA: HOSPITAL VITÓRIA	83
FIGURA 22 – PONTOS DA BARREIRA ACÚSTICA: COLÉGIO ESTADUAL E ESCOLA MUNICIPAL	84
FIGURA 23 – PONTOS DA BARREIRA: COMPLEXO EDUCACIONAL DO SISTEMA FIEP/SESI/SENAI	84
FIGURA 24 – PONTOS DA BARREIRA: CENTRO TECNOLÓGICO DA UNIPOSITIVO	85

FIGURA 25 – PONTOS DA BARREIRA: CEEBJA.....	86
FIGURA 26 – ERRO DA SIMULAÇÃO FRENTE AOS VALORES MEDIDOS	88
FIGURA 27 – AJUSTE DOS RESÍDUOS PARA DISTRIBUIÇÃO NORMAL	89
FIGURA 28 – CURVA DE CALIBRAÇÃO DA SIMULAÇÃO	90
FIGURA 29 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO MODELO LINEAR	90
FIGURA 30 – MAPA DE RUÍDO PARA A CONDIÇÃO ATUAL (RODOVIÁRIO + INDUSTRIAL).....	91
FIGURA 31 – MAPA DE RUÍDO PARA A CONDIÇÃO ATUAL SOMENTE RODOVIÁRIO	92
FIGURA 32 – MAPA DE RUÍDO PARA A CONDIÇÃO ATUAL SOMENTE INDUSTRIAL.....	93
FIGURA 33 – PREDIÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO FUTURO	95
FIGURA 34 – AUMENTO DO NÍVEL DE RUÍDO AO LONGO DO ANOS	96
FIGURA 35 – BOX-PLOT DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DA POLUIÇÃO SONORA	96
FIGURA 36 – REDUÇÃO DE 90% DA FROTA DE VEÍCULOS PESADOS	97
FIGURA 37 – MAPA DE RUÍDO APÓS REDUÇÃO DE 90% DA FROTA DE VEÍCULOS PESADOS.....	98
FIGURA 38 – REDUÇÃO DE 25% DA TOTAL FROTA DE VEÍCULOS	99
FIGURA 39 – MAPA DE RUÍDO APÓS REDUÇÃO DE 25% DA FROTA TOTAL DE VEÍCULOS	99
FIGURA 40 – NÍVEL DE RUÍDO APÓS O USO DE BARREIRAS ACÚSTICAS.....	100
FIGURA 41 – MAPA DE RUÍDO APÓS IMPLANTAÇÃO DAS BARREIRAS ACÚSTICAS.....	101

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – RELAÇÃO ENTRE A ALTURA E A DISTÂNCIA DA FONTE E DO RECEPTOR	41
TABELA 2 – NÍVEL DE POTÊNCIA SONORA EM FUNÇÃO DO TIPO DE INDÚSTRIA	49
TABELA 3 - LIMITES DE TOLERÂNCIA DO ERRO EM MAPAS DE RUÍDO	52
TABELA 4 - PONTOS DE MEDIÇÃO POR ZONEAMENTO.....	61
TABELA 5 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE NOS PONTOS DE MEDIÇÃO.....	69
TABELA 6 - COMPARAÇÃO DO LIMITES PERMITIDOS POR LEI E VALORES MEDIDOS <i>IN SITU</i>	70
TABELA 7 - CONTAGEM E ESTRATIFICAÇÃO DO FLUXO VEICULAR	71
TABELA 8 - DIFERENÇA ENTRE MEDIÇÃO IN SITU E NÍVEL DE RUÍDO SIMULADOS: CONDIÇÃO ATUAL	72
TABELA 9 - COMPOSIÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO: CONDIÇÃO ATUAL	73
TABELA 10 - COMPARAÇÃO DOS LIMITES PERMITIDOS POR LEI E NÍVEIS DE RUÍDO INDUSTRIAL E RODOVIÁRIO, ISOLADOS	74
TABELA 11 - COMPARAÇÃO DOS LIMITES PERMITIDOS POR LEI E NÍVEIS DE RUÍDO INDUSTRIAL E RODOVIÁRIO, COMBINADOS	75
TABELA 12 - EVOLUÇÃO DA FROTA DE VEÍCULOS ENTRE 2009 E 2019	76
TABELA 13 - RESULTADOS DA EXTRAPOLAÇÃO LINEAR PARA CONDIÇÕES FUTURAS	77
TABELA 14 - QUANTITATIVO DO FLUXO VEICULAR NOS ANOS DE 2024 E 2029	78
TABELA 15 - QUANTITATIVO DO FLUXO VEICULAR NOS ANOS DE 2034 E 2039	78
TABELA 16 - QUANTITATIVO DO FLUXO VEICULAR NOS ANOS DE 2044 E 2049	79
TABELA 17 - NÍVEIS DE RUÍDO PARA OS PRÓXIMOS 30 ANOS	79
TABELA 18 - REDUÇÃO DE 90% DA FROTA DE VEÍCULOS PESADOS E 25% DA FROTA TOTAL.....	80
TABELA 19 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO APÓS REDUÇÕES DA FROTA VEICULAR	80

TABELA 20 - COMPARAÇÃO DOS LIMITES PERMITIDOS POR LEI E NÍVEIS DE RUÍDO APÓS REDUÇÕES DE FROTAS VEICULAR	81
TABELA 21 – DIMENSÕES DA BARREIRA: UBS CAMPO ALEGRE	83
TABELA 22 – DIMENSÕES DA BARREIRA: HOSPITAL VITÓRIA.....	83
TABELA 23 – DIMENSÕES DA BARREIRA: COLÉGIO ESTADUAL E ESCOLA MUNICIPAL.....	84
TABELA 24 – DIMENSÕES DA BARREIRA: COMPLEXO EDUCACIONAL DO SISTEMA FIEP/SESI/SENAI.....	85
TABELA 25 – DIMENSÕES DA BARREIRA: CENTRO TECNOLÓGICO DA UNIPOSITIVO	85
TABELA 26 – DIMENSÕES DA BARREIRA: CEEBJA.....	86
TABELA 27 – NÍVEIS DE RUÍDO ANTES E APÓS IMPLEMENTAÇÃO DAS BARREIRAS.....	86

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MÁXIMOS	33
QUADRO 2 - LIMITES DE NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EM FUNÇÃO DOS TIPOS DE ÁREAS HABITADAS E DO PERÍODO.....	34
QUADRO 3 - MODELOS DE CÁLCULO DE RUÍDO	52
QUADRO 4 – INDÚSTRIAS, ZONAS DE USO E LIMITES DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA.....	58
QUADRO 5 – VIAS E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	58
QUADRO 6 – BIBLIOTECA DO SOUNDPLAN 8.0: VALORES DE L_w	63

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. OBJETIVO GERAL.....	19
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ACÚSTICA AMBIENTAL	21
2.2. IMPACTO DO RUÍDO AMBIENTAL	26
2.3. RUÍDO INDUSTRIAL.....	27
2.4. ABORDAGEM PARA O CONTROLE DE RUÍDO	28
2.4.1. Princípios básicos de propagação do som.....	28
2.4.2. Fundamentos de controle de ruído	29
2.5. LEGISLAÇÃO VIGENTE	32
2.5.1. Resoluções do Conama	32
2.5.2. Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002	33
2.5.3. NBR 10.151/2019.....	33
2.6. MÉTODOS DE CÁLCULO NOS MAPAS DE RUÍDOS	34
2.6.1. Modelo de Ruído de Tráfego Rodoviário RLS-90	34
2.6.2. ISO 9613-2:1996	37
2.6.3. Cálculo do projeto de barreiras acústicas via ISO 9613-2.....	38
3. REVISÃO DA LITERATURA	42
3.1. IMPACTO DO RUÍDO AMBIENTAL	42
3.2. RUÍDO RODOVIÁRIO	44
3.3. RUÍDO INDUSTRIAL.....	46
3.4. COMPOSIÇÃO DO RUÍDO RODOVIÁRIO E INDUSTRIAL.....	49
3.5. VALIDAÇÕES DO USO DE MAPAS DE RUÍDO.....	51
3.6. ABORDAGENS MITIGADORAS DE ATENUAÇÃO DE RUÍDO.....	53
4. METODOLOGIA	57
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	57
4.2. COLETA DE DADOS DE CAMPO	60
4.3. ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE RUÍDO	62
4.4. VALIDAÇÃO DOS MAPAS DE RUÍDO	65
4.5. ESTIMATIVA DE CRESCIMENTO DE FROTA DE VEÍCULOS.....	65

4.6. PROPOSTA DE SOLUÇÕES MITIGADORAS.....	66
5. RESULTADOS.....	69
5.1. MEDIÇÕES <i>IN SITU</i>	69
5.1.1. Nível de pressão sonora equivalente – L_{eq}	69
5.1.2. Contagem de veículos.....	70
5.2. CALIBRAÇÃO DO MODELO DE CÁLCULO.....	72
5.3. SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS PROPOSTOS	75
5.3.1. Estimativa de crescimento da frota de veículos	76
5.3.2. Redução da frota de veículos.....	80
5.3.3. Barreira acústica	82
6. DISCUSSÃO	88
6.1. AVALIAÇÃO DA CALIBRAÇÃO DO MODELO DE CÁLCULO	88
6.2. AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO RODOVIÁRIO E INDUSTRIAL.....	91
6.3. SIMULAÇÕES DE CONDIÇÕES FUTURAS.....	94
6.4. PROJETO DAS SOLUÇÕES MITIGADORAS	97
7. CONCLUSÕES	102
7.1. SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	103
REFERÊNCIAS.....	104
APÊNDICE A – MAPA DE RUÍDO DA SITUAÇÃO ATUAL: RUÍDO RODOVIÁRIO E INDUSTRIAL COMBINADOS.....	112
APÊNDICE B – MAPA DE RUÍDO DA SITUAÇÃO ATUAL: RUÍDO RODOVIÁRIO	113
APÊNDICE C – MAPA DE RUÍDO DA SITUAÇÃO ATUAL: RUÍDO INDUSTRIAL	114
APÊNDICE D – MAPA DE RUÍDO: PREVISÃO DE CRESCIMENTO DA FROTA VEICULAR – ANOS 2024 A 2049	115
APÊNDICE E – MAPA DE RUÍDO: REDUÇÃO DE 90% DA FROTA DE VEÍCULOS PESADOS.....	116
APÊNDICE F – MAPA DE RUÍDO: REDUÇÃO DE 25% DA FROTA TOTAL DE VEÍCULOS.....	117
APÊNDICE G – MAPA DE RUÍDO APÓS IMPLEMENTAÇÃO DE BARREIRAS ACÚSTICAS	118

1. INTRODUÇÃO

A Organização Mundial da Saúde (OMS) define o ruído ambiental em áreas urbanas como uma das maiores fontes de queixa quanto as questões ambientais (WHO, 2011). Doenças cardiovasculares, problemas cognitivos, distúrbios do sono, zumbido nos ouvidos e irritação são listados como problemas de saúde causados pelo ruído (GERGES, 1992; HARRIS, 1993; FAHY; WALKER, 1998; BERGLUND; LINDVALL; SCHEWELA, 1999; BISTAFA, 2006; WHO, 2011; AKPAN; OLUFEM; OFFIONG, 2013). Diversos autores classificam o ruído ambiental como um grave incômodo, particularmente nas áreas urbanas, em razão do grande número de pessoas que são afetadas e a intensidade a que estão expostas (ZANNIN et al., 2002a; ZANNIN et al., 2002b; ZANNIN; SZEREMETTA, 2003, CELLI; RIBAS; ZANNIN, 2005).

Cidades desenvolvidas englobam diversas fontes de ruído, como rodoviário, ferroviário, aeroviário, industrial, proveniente de construção civil ou até mesmo o ruído de vizinhança. As diferentes fontes tornam complexo e difícil o mapeamento de cada fonte de forma individual. Por possuir participação simultânea de várias fontes e de inúmeras atividades, o ruído ambiental é considerado complexo (ZANNIN et al., 2002). Segundo Khan et al. (2018) num estudo de revisão da literatura com 858 trabalhos que examinaram o efeito da poluição sonora acompanhada da poluição do ar, foi mostrado que mais de 68% dos pesquisadores focaram seus estudos para avaliar, identificar e monitorar os efeitos nocivos do ruído sobre a saúde, sendo que o uso de medições *in situ* foi uma das principais abordagens metodológicas empregadas.

A implantação da Cidade Industrial de Curitiba (CIC) foi iniciada após a assinatura do Decreto Oficial nº 30 de 1973, que previa a desapropriação de terras numa área de aproximadamente 43,7 milhões de m². Visando o crescimento da região, coube a Companhia de Urbanização de Curitiba (URBS) a tarefa de unir o uso do solo à estrutura viária e ao transporte, além de promover um espaço inovador que integrasse o desenvolvimento industrial à vida urbana. De acordo com o Censo realizado em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a CIC é o bairro mais populoso e de maior extensão territorial do Município de Curitiba, aliando áreas residenciais muito próximas de grandes indústrias, bem como comércio, escolas, hospitais e centro de lazer para atender tamanha população.

Tendo em vista a perturbação ocasionada pelo ruído, o trabalho proposto tem como objetivo avaliar a composição da poluição sonora resultante dos ruídos rodoviário e industrial em uma determinada região da Cidade Industrial de Curitiba. Para tal, foi necessário realizar a medição e monitoramento do ruído. Mapas de ruído são capazes de identificar as fontes e prever o resultado prático de vários cenários, otimizando o investimento em ações de controle de ruído, diminuindo os custos de monitoramento (BRÜEL & KJAER, 2019). Esses *softwares* baseiam-se na execução sequencial de algoritmos computacionais, calculando a propagação do som em ambientes abertos, segundo os modelos matemáticos escolhidos (KHAN et al., 2018).

1.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho visa avaliar a composição da poluição sonora resultante dos ruídos rodoviário e industrial em uma região do distrito industrial do Município de Curitiba, com o intuito de propor soluções mitigadoras.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para a alcançar objetivo geral, foram delimitados os seguintes objetivos específicos:

- a) Caracterizar a região de estudo;
- b) Medir os níveis de pressão sonora equivalente nos pontos definidos na região a ser avaliada;
- c) Elaborar os mapas de ruído através do *software* SoundPlan 8.0;
- d) Validar os mapas de ruído com os níveis de pressão sonora medidos *in situ*;
- e) Avaliar os ruídos industrial e rodoviário na região de estudo, segundo a NBR 10151/2019 e a Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002;
- f) Estimar o crescimento da frota de veículos até 2030;
- g) Calcular os mapas de ruídos gerados em função do crescimento do fluxo de veículos;
- h) Propor soluções mitigadoras para a atenuação do ruído visando atingir os níveis exigidos pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002;
- i) Calcular os mapas de ruído com as medidas mitigadoras propostas.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi estruturado como segue:

No capítulo 2 apresentou-se a fundamentação teórica do trabalho, onde foram descritos os principais conceitos pertinentes ao tema em estudo.

No capítulo 3 discorreu-se sobre a revisão da literatura, objetivando-se investigar o estado da arte e, com isto, buscar caracterizar as possíveis tendências sobre o estudo da aplicação do mapeamento de ruído urbano.

No capítulo 4 descreveu-se metodologia do trabalho, que foi dividida em três principais etapas sendo elas: (i) medições in situ, (ii) cálculo e validação dos mapas acústicos e (iii) elaboração de soluções mitigadoras conforme os resultados obtidos por meio dos mapas de ruído.

No capítulo 5 evidenciaram-se os resultados quantitativos das medições e os valores simulados, assim como, mostrou-se a calibração dos modelos. Posteriormente, evidencia-se quantitativamente os resultados das soluções mitigadoras.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo são apresentados os principais conceitos contidos no presente trabalho. O objetivo principal é fornecer as considerações básicas sobre os processos relacionados com o aporte metodológico envolvidos na avaliação do ruído ambiental.

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ACÚSTICA AMBIENTAL

O som é definido como um movimento de onda no ar ou outro meio elástico (estímulo) ou como a excitação do mecanismo auditivo que resulta na percepção do som (EVEREST, 2001; HOPKINS, 2007). Para Bistafa (2006) sons são as perturbações em frequências muito baixas – infra-sons – ou altas – ultra-sons –, ainda que não ouvidas por uma pessoa normal. Ruído é um som indesejável, perturbador ou sem harmonia, porém que muitas vezes transmite informações úteis como alarmes e sirenes (BISTAFA, 2006; HARRIS, 1993; ROSSING, 1989). Sendo o som uma onda mecânica, tridimensional e longitudinal, pode sofrer fenômenos ondulatórios como a reflexão. Quando encontra uma barreira, a onda sonora acaba por ser refletida, absorvida, transmitida ou difratada. O som possui propriedades físicas como frequência, período, comprimento de onda e velocidade.

Uma forma de caracterizar o som é por meio da frequência. Esta é definida como o número de ciclos por unidade de tempo, sendo unidade de medida o ciclo por segundo, chamado de Hertz (Hz). O sistema auditivo humano é capaz de detectar frequências entre 20 e 20.000 Hz. Esse intervalo de frequências é chamado de faixa de áudio (GERGES, 1992). O tempo que leva para um determinado objeto executar um ciclo completo de movimento oscilatório é denominado período, cuja unidade de medida é o segundo (s), e também tem-se o comprimento de onda que representa a distância mínima em que um ciclo se repete, e a unidade de medida é dada em metros (m).

A pressão sonora é definida como a variação média de pressão em relação à pressão atmosférica, e sua unidade de medida é o Pascal (Pa). A menor variação de pressão ambiente percebida pelo ouvido humano é da ordem de 2×10^{-5} Pa ou 20 μ Pa, chamada de limiar da audibilidade (BISTAFA, 2006). A Eq. (1) descreve o comportamento temporal da pressão sonora.

$$p(t) = A \times \cos(2\pi f \times t) \quad (1)$$

Sendo,

p = pressão sonora em função do tempo t ; em Pa;

A = amplitude de pressão, em Pa;

f = representa a frequência, em Hz.

De posse da pressão sonora, define-se o nível de pressão sonora (NPS) descrito por:

$$NPS = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad (2)$$

Sendo,

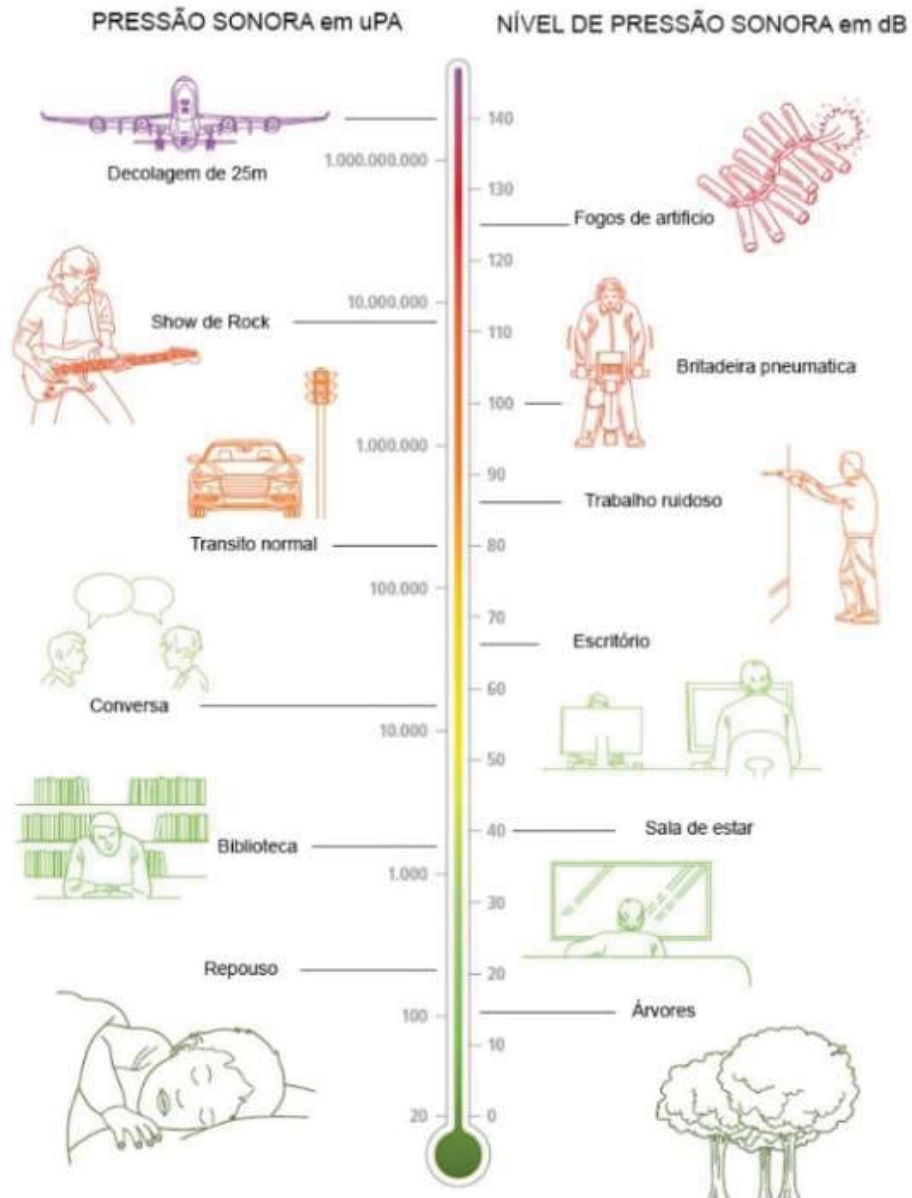
NPS = nível de pressão sonora, em dB;

p = pressão sonora instantânea no local de medição, em Pa;

p_0 = pressão sonora de referência = 2×10^{-5} N/m².

Utiliza-se o NPS devido à ampla faixa de sensibilidade no ouvido, que contém um espectro da ordem de 2×10^{-5} até 1×10^9 Pa. Com isto, o NPS comprime esta faixa entre 0 dB e 130 dB, facilitando a avaliação quantitativa dos fenômenos de acústica ambiental. Neste sentido, a FIGURA 1 apresenta a relação entre pressão sonora e nível de pressão sonora em diversas situações do cotidiano.

FIGURA 1 – COMPARAÇÃO DA ESCALA LINEAR E LOGARITMICA



FONTE: Brüel & Kjaer (2019).

Como comparação frente os dados da FIGURA 1, o limiar da dor, que é a variação da pressão ambiente capaz de provocar dor, é da ordem de 120 dB. Uma vez que o NPS representa uma transformação logarítmica, quando deseja-se somar os níveis de pressão sonora é necessário transformar os dados logarítmicos, em dB, para os dados lineares, em N/m^2 , logo:

$$p^2 = p_0^2 10^{0,1NPS} \quad (3)$$

Para somar vários níveis de pressão sonora:

$$p_T^2 = p_0^2 10^{0,1NPS_1} + p_0^2 10^{0,1NPS_2} + \dots + p_0^2 10^{0,1NPS_n} \quad (4)$$

Sendo,

p_T^2 = nível de pressão sonora total;

NPS_n = número de níveis de pressão sonora que se deseja somar.

Uma vez que os danos causados à audição não dependem somente do nível sonoro, mas também da sua duração, é necessário avaliar a dose de ruído exposta, ou seja, o nível de pressão sonora equivalente (GERGES, 1992). O nível de pressão sonora equivalente é descrito por:

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_{(t)}^2}{p_0^2} dt \quad (5)$$

Sendo,

T = tempo de integração, em segundos (s);

$p_{(t)}$ = pressão acústica instantânea;

p_0 = pressão acústica de referência;

L_{eq} = nível contínuo (estacionário) equivalente, em dB(A).

O nível contínuo (estacionário) tem o mesmo potencial de lesão auditiva que o nível variável considerado (GERGES, 1992).

No contexto de caracterizar as variáveis do campo acústico existe a intensidade sonora, que é descrita como o fluxo de energia por unidade de área perpendicular à direção de propagação durante uma unidade de tempo. A unidade de medida é o watt por metro quadrado (W/m²).

$$I = \frac{\text{energia}}{\text{área} \times \text{tempo}} = \frac{\text{potência}}{\text{área}} \quad (6)$$

A intensidade de referência é da ordem de 10⁻¹² W/m². Similarmente o NPS, define-se o nível de intensidade sonora (NIS) descrito por:

$$NIS = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (7)$$

Sendo,

NIS = nível de intensidade sonora, em dB;

I = a intensidade sonora, em W/m^2 ;

I_0 = a intensidade sonora de referência.

Pode-se explicar quantitativamente sobre limiar da dor e limiar de audibilidade através da intensidade acústica para uma frequência de 1000 Hz. Sendo $I = 10^{-12} W/m^2$,

$$NIS = 10 \log \frac{10^{-12}}{10^{-12}} = 0 \text{ dB} \quad (8)$$

e, sendo $I = 1 W/m^2$,

$$NIS = 10 \log \frac{1}{10^{-12}} = 120 \text{ dB} \quad (9)$$

Logo, a gama de intensidade que é possível ouvir é de 0 dB a 120 dB para um tom de referência de 1000 Hz. E, tem-se ainda a potência sonora que é definida como a energia sonora total emitida por uma fonte por unidade de tempo. A unidade de medida é expressa em watts. O valor de referência da potência sonora é da ordem de $10^{-12} W$.

Valle (2009) descreve que a razão entre duas potências sonoras pode ser expressa em função da diferença entre dois níveis de pressão sonora:

$$\Delta p = 10 \log \frac{W_1}{W_2} \quad (10)$$

Sendo,

Δp = diferença entre dois níveis de pressão sonora;

W_1 = potência sonora da fonte 1;

W_2 = potência sonora da fonte 2;

Consequentemente, o nível de potência sonora (NWS) é dado por:

$$NWS = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad (11)$$

Sendo,

NWS = o nível de potência sonora, em dB;

W = potência sonora, em W;

W_0 = potência sonora de referência;

2.2. IMPACTO DO RUÍDO AMBIENTAL

O ruído ambiental é definido como o ruído emitido por todas as fontes, exceto o ruído proveniente do ambiente de trabalho ou ocupacional (BERGLUND; LINDVALL; SCHEWELA, 1999; RIBAS, 2007). As fontes de ruído ambiental antropogênicas podem ser classificadas por setores como transporte (tráfegos rodoviário, ferroviário e aéreo), construção e indústria e fontes comunitárias (vizinhos, comércio) (MISHRA et al., 2017; BERGLUND; LINDVALL; SCHEWELA, 1999). Quanto ao deslocamento da fonte sonora, pode-se classificar os emissores de ruído como fontes estacionárias (uma construção), fontes móveis (automóveis) e fontes coletivas (praça ou evento).

A exposição ao ruído é, costumeiramente, maior nos países em desenvolvimento (BERGLUND; LINDVALL; SCHEWELA, 1999). Para Ribas (2007) quando o ruído é ininterrupto, constante, frequente e intenso, dá-se a poluição sonora.

Kinsler et al. (1982) relatam que, em tempos remotos, as queixas sobre a poluição sonora eram expostas ao tribunal onde um juiz decidia se o autor seria notificado. Ao passo que, a influência das fontes de ruído aumentava, os efeitos adversos da exposição ao ruído tornaram-se mais explícitos. À vista disso, os governos passaram a definir suas sentenças como “conduta desordenada”, e decretaram regras para proibir o barulho “incomum” ou “excessivo”. Outros autores descrevem fatos ao longo da história acerca do controle de ruído, como a proibição de tráfego de carruagens durante a noite na Europa Medieval (BERGLUND, LINDVALL; SCHEWELA, 1999; DO CARMO, 1999).

De outro ponto de vista, o ruído pode se tornar uma ameaça aos sistemas mecânicos e elétricos, gerando vibrações excessivas, podendo levar à fadiga ou mau funcionamento dos equipamentos. Portanto, afeta de forma desfavorável à qualidade, comercialização e competitividade dos produtos industriais (FAHY; WALKER, 1998).

2.3. RUÍDO INDUSTRIAL

Paralelo ao aumento da população mundial existe um aumento da demanda por bens e serviços. Posto isso, a produção para atender essa necessidade também aumenta, tornando o ruído industrial responsável por intenso ruído interior e exterior.

Este ruído é devido a máquinas de todos os tipos e muitas vezes aumentam com a potência das máquinas. Mecanismos de geração de som de máquinas são razoavelmente bem compreendidos. O ruído pode conter frequências predominantemente baixas ou altas, componentes tonais, ser impulsivo ou ter padrões de som temporal desagradáveis. As máquinas giratórias e recíprocas geram som que inclui componentes tonais; e o equipamento de movimentação de ar tende também a gerar ruído com uma ampla faixa de frequência. Os altos níveis de pressão sonora são causados por componentes ou fluxos de gás que se movem em alta velocidade (por exemplo, ventiladores, válvulas de alívio de pressão de vapor) ou por operações que envolvem impactos mecânicos (por exemplo, estampagem, rebites, quebra de estrada). As máquinas devem, de preferência, ser silenciadas na fonte. (BERGLUND; LINDVALL; SCHEWELA, 1999, p. 23-24).

Além dos equipamentos, ao ruído industrial são somadas as emissões provenientes desde o recebimento da matéria prima, o processamento, acabamento, e finalmente, a logística de distribuição (OWOYEMI; FALEMARA; OWOYEMI, 2017).

As comunidades circunvizinhas às unidades fabris ou industriais geralmente são as mais afetadas (BERGLUND; LINDVALL; SCHEWELA, 1999), contudo Owoyemi, Falemara e Owoyemi (2017) julgam que os trabalhadores envolvidos nos processos de produção são os que mais sofrem com a poluição sonora industrial.

Diversos autores descrevem as patologias decorrentes da exposição ao ruído. Doenças cardiovasculares, risco de infarto, deficiência cognitiva em crianças, distúrbios do sono, perda auditiva parcial ou completa, dor nas costas, nervosismo, aborrecimento, náusea, descuido, aumento do risco de acidentes, interferência na

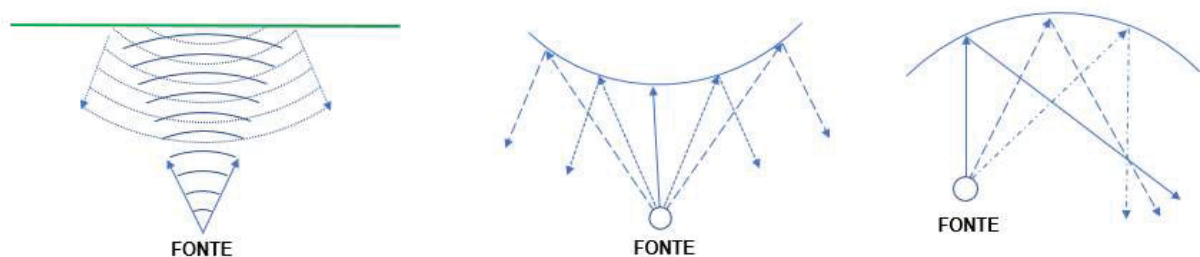
comunicação de fala; efeitos psicofisiológicos, de saúde mental e de desempenho; efeitos sobre comportamento residencial e aborrecimento (GERGES, 1992; HARRIS, 1993; FAHY; WALKER, 1998; BERGLUND; LINDVALL; SCHEWELA, 1999; BISTAFÁ, 2006; WHO, 2011; AKPAN; OLUFEM; OFFIONG, 2013; ZANNIN et al., 2013; BUNN; ZANNIN, 2016).

2.4. ABORDAGEM PARA O CONTROLE DE RUÍDO

2.4.1. Princípios básicos de propagação do som

Quando a onda sonora viaja da fonte e encontra uma barreira, a direção de propagação muda e, diz-se que ela foi refletida (HARRIS, 1993). Quando encontra uma superfície convexa pode sofrer difusão. A direção de propagação depende do formato da superfície atingida, conforme mostrado na FIGURA 2:

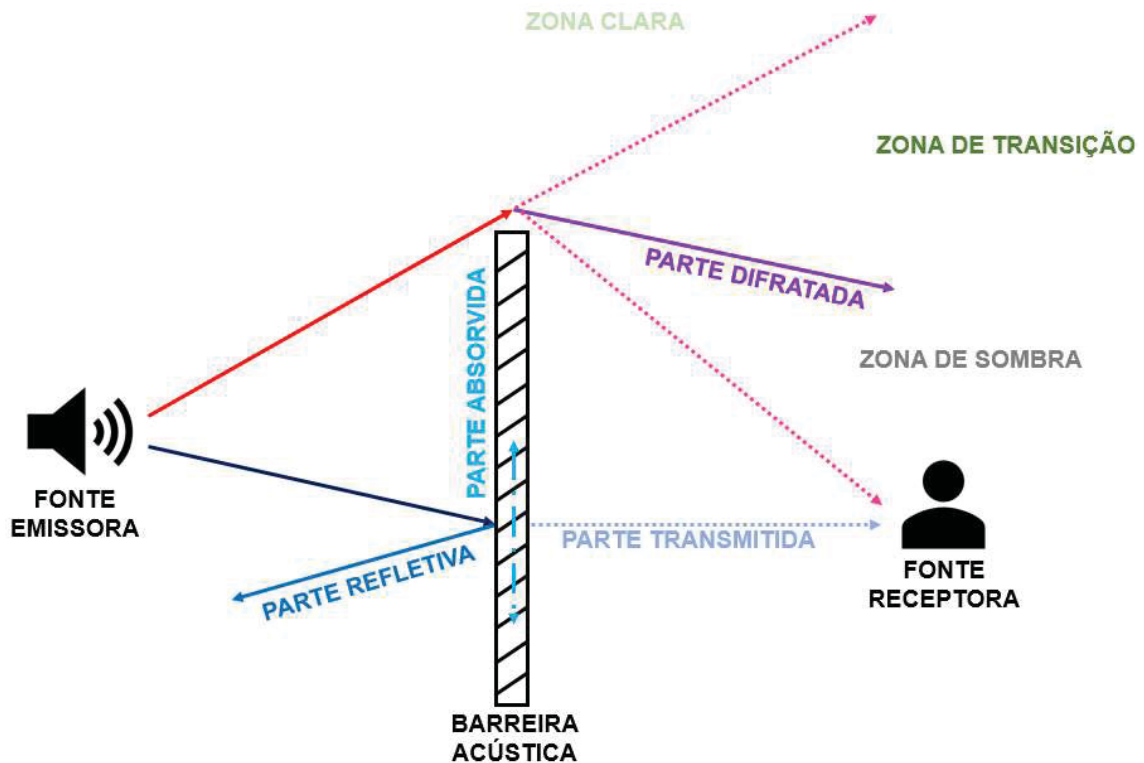
FIGURA 2 - REFLEXÃO DE ONDAS SONORAS



FONTE: A autora (2019).

Quando as ondas sonoras incidem em determinada barreira e não são refletidas, ocorre a absorção do som e ou transmissão do mesmo. Difração é o fenômeno que ocorre quando as ondas sonoras encontram uma barreira e o contornam, se “flexionando”; ou quando encontram um orifício, ou passagem, e se espalham, conforme mostra a FIGURA 3 (HARRIS, 1993; HOPKINS, 2007):

FIGURA 3 - EFEITOS FÍSICOS DE UMA BARREIRA ACÚSTICA



FONTE: Adaptado de Fleming et al., (2011).

Quando a energia sonora, ou uma parcela dela, é transportada da superfície de incidência para o outro lado, ocorre a transmissão sonora (LONG, 2006).

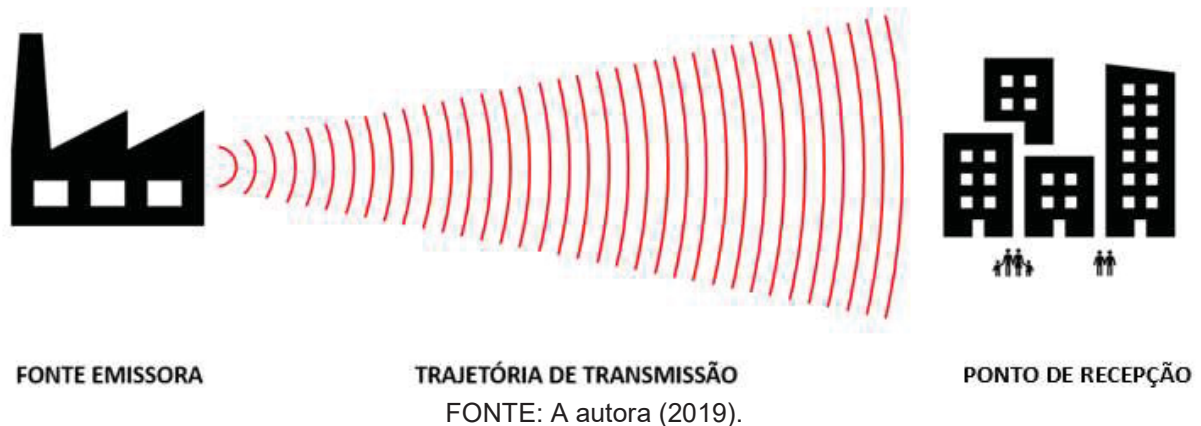
2.4.2. Fundamentos de controle de ruído

Harris (1993) define o controle do ruído como a tecnologia de obtenção de um ambiente com ruído tolerável, atendendo a questões econômicas e operacionais, assim como deve-se atender a legislação vigente. A eficiência da solução na redução do ruído aos níveis desejados deve ser confrontada com o custo.

Quando se pretende reduzir os efeitos do ruído ambiental, deve-se levar em consideração 3 aspectos: controlar a emissão de ruído diretamente na fonte; controlar a trajetória de transmissão do ruído, e/ou; controlar a imissão diretamente na fonte.

Sendo assim, a FIGURA 4 apresenta os meios de controle do ruído:

FIGURA 4 – ORIGEM, TRAJETÓRIA E DESTINO DO RUÍDO



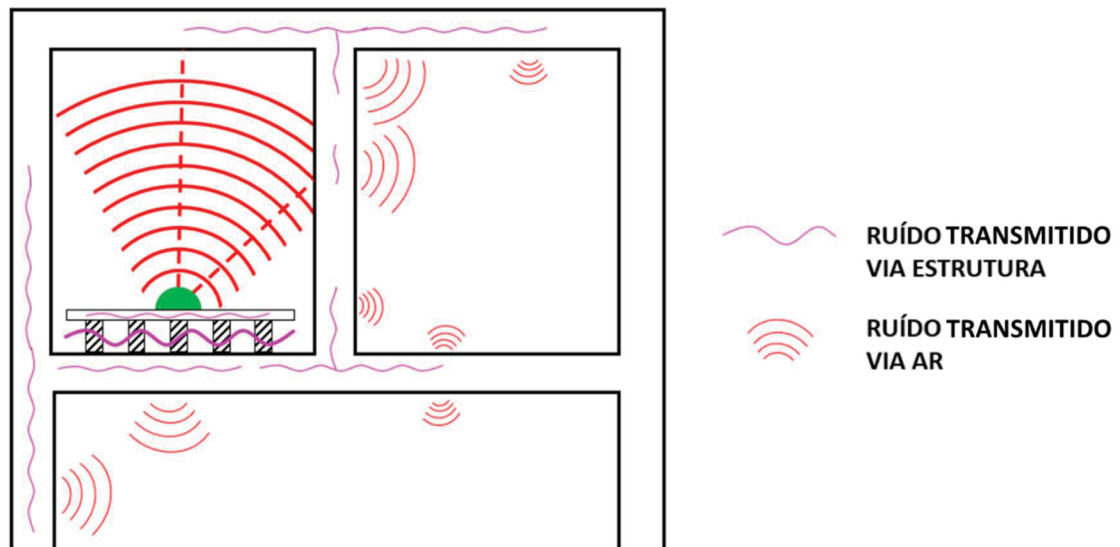
De forma geral, o modo mais simples de reduzir as implicações causadas pelo ruído é afastando a fonte emissora do ponto de recepção.

Equipamentos mais silenciosos e/ou redução do tempo de operação são ações de controle de ruído diretamente na fonte emissora (BERGLUND; LINDVALL; SCHEWELA, 1999). Os autores ainda citam o zoneamento de regiões industriais e residenciais, com a finalidade de evitar a exposição à poluição sonora. Bistafa (2006) propõem controlar o movimento de elementos de máquinas, de fluídos ou da irradiação sonora da máquina. O autor lista alguns elementos de maior relevância, como engrenagens, mancais, cames, bielas-manivelas e correntes de transmissão.

Quando não ocorre a previsão do controle de ruído na fase de planejamento, recorre-se à trajetória de emissão da energia sonora. Tanto Harris (1993) quanto Bistafa (2006), sugerem aumentar a distância entre fonte emissora e o ponto de recepção, ou ponto de imissão sonora. No ambiente industrial pode-se fazer uso ainda do enclausuramento total ou parcial, barreiras e biombo para separar as máquinas ruidosas das demais zonas da indústria. No caso do enclausuramento, deve-se prever sistemas de ventilação e resfriamento das máquinas, bem como acessos para inspeção e manuseio das mesmas.

Visto que a energia sonora pode ser transportada tanto via aérea (pelo ar) quanto via um meio sólido (pelas estruturas), é natural prever materiais que atenuem a transmissão das ondas sonoras na construção de edificações, veículos, aeronaves, etc. A FIGURA 5 ilustra a transmissão do som pelo ar e pelas estruturas de uma edificação:

FIGURA 5 - RUÍDO TRANSMITIDO POR AR E ESTRUTURA



FONTE: Adaptado de Gerges (1992).

Uma abordagem inteligente para o problema da construção de edifícios silenciosos deve ser baseada no conhecimento da magnitude, natureza e distribuição do ruído pelo uso adequado do tratamento absorvente de som. (KNUDSEN; HARRIS, 1955, p. 11-12).

Já no que concerne às barreiras acústicas, elas atenuam o ruído através de quatro efeitos físicos: absorção, transmissão, reflexão ou difração (FLEMING et al., 2011). O desempenho das barreiras acústicas é definido, sobretudo, pelas propriedades de reflexão e absorção sonora. (SCHWANNEN; PEETERS, 2016). Essas propriedades, por sua vez, são determinadas pelas dimensões, bem como formato, material, geometria da superfície e posição da barreira em relação a fonte emissora. (PIRINCHIEVA, 1991; KOTZEN; ENGLISH, 1999; ENVIRONMENTAL PROTECTION DEPARTMENT; HIGHWAYS DEPARTMENT, 2003; NILSSON; ANDÉHN; LESNA, 2008; PAZOS, 2015).

Por fim, o controle do ruído no receptor é a última linha de defesa. É possível atenuar o ruído através da proteção individual com protetores auriculares como tipo concha, inserção de espuma moldável ou inserção de silicone (BISTAFA, 2006).

2.5. LEGISLAÇÃO VIGENTE

2.5.1. Resoluções do Conama

A Resolução nº 001 de 08/03/1990, considera que os “problemas dos níveis excessivos de ruído estão incluídos entre os sujeitos ao Controle da Poluição de Meio Ambiente e que a deterioração da qualidade de vida, causada pela poluição sonora, está sendo continuamente agravada nos grandes centros urbanos” (CONAMA, 1990).

A Resolução nº 002 de 08/03/1990, considera que os “problemas de poluição sonora agravam-se ao longo do tempo, que som em excesso é uma séria ameaça à saúde, ao bem-estar público e a qualidade de vida; que o homem tem o direito garantido de conforto ambiental; e que é fundamental o estabelecimento de normas, métodos e ações para controlar o ruído excessivo que possa interferir na saúde e bem-estar da população” (CONAMA, 1990). A resolução dispõe:

I – A emissão de ruídos, em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política, obedecerá, no interesse da saúde, do sossego público, aos padrões, critérios e diretrizes estabelecidos nesta Resolução.

II – São prejudiciais à saúde e ao sossego público, para os fins do item anterior aos ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis pela norma NBR 10.151 – Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

III – Na execução dos projetos de construção ou de reformas de edificações para atividades heterogêneas, o nível de som produzido por uma delas não poderá ultrapassar os níveis estabelecidos pela NBR 10.152 - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (...)

VII – Todas as normas reguladoras da poluição sonora, emitidas a partir da presente data, deverão ser compatibilizadas com a presente Resolução. (CONAMA, 1990).

A resolução institui o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora - "SILÊNCIO" com os objetivos de promover cursos técnicos, divulgar os efeitos prejudiciais causados pelo excesso de ruído, introduzir o tema “poluição sonora” nos cursos secundários, incentivar a fabricação e uso de equipamentos e dispositivos com menor intensidade de ruído, incentivar a capacitação para receber

denúncias e tomar providências de combate contra a poluição sonora, estabelecer convênios e contratos para contribuir para o desenvolvimento do programa SILÊNCIO. Ainda, sempre que necessário, os limites máximos de emissão poderão ter valores mais rígidos fixados a nível Estadual e Municipal.

2.5.2. Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002

Em Curitiba a Lei Municipal nº 10.625/02 (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2002) dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem-estar e do sossego público. A QUADRO 1 apresenta os limites máximos permissíveis por zonas de uso:

QUADRO 1 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MÁXIMOS			
ZONAS DE USO	DIURNO	VESPERTINO	NOTURNO
ZR-1, ZR-2, ZR-3, ZR-B, ZR-AV, ZR-M, APA-SARU, APA-SMRU	55	50	45
ZR-OC, ZR-SF, ZR-U, ZUC-II, ZT-MF; ZT-NC, ZE-E, ZE-M, ZOO, SE-CC, SE-PS, SE-OI, APA-ST	60	55	50
ZR-4, ZC, ZT-BR-116, ZUM, ZE-D, SE, SH, SE-BR-116, SE-MF, SE-CF, SE-WB, SE-AC, SE-CB, CONEC, SE-PE, SE-WB, SE-UM, SE-NC, SEI, SEHIS, SE-LE, SEVC-PASSAPUNA, SEVS-PASSAÚNA, APA-SS, Vias prioritárias 1 e 2, Vias setoriais, Vias coletoras 1, 2 e 3	65	60	55
ZS-1, ZS-2, ZES, ZI, ZEI-I (CIC), APA-SUE	70	60	60

*Todas as unidades em dB(A).

FONTE: Prefeitura Municipal de Curitiba (2002).

A lei estabelece que quando a propriedade que sofre o incômodo for uma escola, creche, biblioteca pública, hospital, ambulatório, casa de saúde ou similar com leitos para internamento, hotel ou similar, devem ser atendidos os limites estabelecidos para a ZR-1 em um raio de 200 m.

2.5.3. NBR 10.151/2019

No Brasil, a NBR 10.151/2019: Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral, estabelece os “procedimentos técnicos a serem adotados na execução de medições de níveis de pressão sonora em ambientes internos e externos às edificações”. Ainda, a norma estabelece os “procedimentos e limites para avaliação dos resultados em função da

finalidade de uso e ocupação do solo”. Os limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e dos períodos apresentados no QUADRO 2.

QUADRO 2 - LIMITES DE NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EM FUNÇÃO DOS TIPOS DE ÁREAS HABITADAS E DO PERÍODO

TIPOS DE ÁREAS HABITADAS	RL _{Aeq} Limites de níveis de pressão sonora dB(A)	
	PERÍODO DIURNO	PERÍODO NOTURNO
Áreas de residências rurais	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista predominantemente residencial	55	50
Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa	60	55
Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

FONTE: ABNT (2019).

2.6. MÉTODOS DE CÁLCULO NOS MAPAS DE RUÍDOS

Esta seção tem como objetivo demonstrar os modelos de cálculo aplicados no desenvolvimento de mapas de ruído.

2.6.1. Modelo de Ruído de Tráfego Rodoviário RLS-90

Na Alemanha aplica-se o modelo de ruído de tráfego *Richtlinien für den Lärmschutz um Strassen* ou Diretrizes para Proteção de Ruído em Rodovias, mais conhecido pelo acrônimo RLS-90. Este é um modelo de cálculo eficaz, capaz de determinar o nível de ruído do tráfego rodoviário em vias e estacionamentos. O modelo requer entradas de dados como fluxo médio horário, estratificados em veículos pesados e leves, e a respectiva velocidade média de cada grupo, a dimensão, geometria e tipo da estrada e de quaisquer obstáculos naturais e artificiais são também levados em conta.

A RLS-90 pondera as principais características que influenciam a propagação do ruído, como obstáculos, vegetação, absorção do ar, reflexões e a difração do som. Em particular, torna-se possível verificar a redução de ruído produzida pelas barreiras acústicas e leva em conta também as reflexões produzidas em situações construtivas das mais diversas.

O ponto de partida do cálculo é expresso pelo nível de emissão sonora ($L_{m,E}$) mensurado a uma distância de 25 m do centro da faixa de rodagem e a 4 m do chão. O $L_{m,E}$ é determinado em função da quantidade de veículos por hora, ou seja, de um fluxo Q , e da porcentagem de caminhões pesados P (peso > 2,8 toneladas), sob condições idealizadas (velocidade de 80 km/h para veículos pesados e 100 km/h para veículos leves; declividade da estrada abaixo de 5%; e superfície de asfalto não ranhurado). Analiticamente $L_{m,E}^{(25)}$ é dado por:

$$L_{m,E}^{(25)} = 37,3 + 10 \log[Q(1 + 0,082P)] \quad (12)$$

O próximo passo é quantificar os vários desvios dessas condições idealizadas por meio de correções para a “velocidade real”, a declividade real da estrada ou da superfície real, assim como a inclusão de diversos outros fatores de correção. Em particular, essas correções da modelagem dependem da condição do dia, se é referente ao período diurno ou noturno. Posto isto, para cada pista, o nível médio L_m em dB(A) é calculado como:

$$L_m = L_{m,E}^{(25)} + R_{SL} + R_{RS} + R_{RF} + R_E + R_{DA} + R_{GA} + R_{TB} \quad (13)$$

Sendo,

R_{SL} = correção para o limite de velocidade;

R_{RS} = correção para as superfícies de estrada;

R_{RS} = fornecido por tabela e depende do tipo de superfície e da velocidade do veículo (em geral este parâmetro está comprimido na faixa de 0 dB a 6 dB;

R_{RF} = correção para aumentos e quedas de declividade ao longo das ruas;

R_E = correção para as características de absorção de superfícies de construção;

R_{DA} = coeficiente de atenuação que leva em conta a distância do receptor e a absorção de ar;

R_{GA} = coeficiente de atenuação devido às condições do solo e atmosféricas;

R_{TB} = coeficiente de atenuação devido às dimensões da topografia e dos edifícios.

Recomenda-se a leitura da norma RLS-90 para detalhamento dos cálculos de correção.

Em particular, o R_{SL} é dado pela fórmula:

$$R_{SL} = L_{PKW} - 37,3 + 10 \log \left[\frac{100 + (10^{0,1D} - 1)P}{100 + 8,23P} \right] \quad (14)$$

com,

$$L_{PKW} = 27,7 + 10 \log[1 + (0,02v_{PKW})^3] \quad (15)$$

$$L_{LKW} = 23,1 + 12,5 \log[v_{PKW}] \quad (16)$$

$$D = L_{LKW} - L_{PKW} \quad (17)$$

Sendo,

v_{PKW} = limite de velocidade na faixa de 30 km/h a 130 km/h para veículos leves;

v_{LKW} = limite de velocidade na faixa de 30 a 80 km/h para veículos pesados.

Avaliando o $L_{m,E}^{(25)}$ para cada pista como descrito, obtém-se:

$$L_m = 10 \log[10^{0,1L_{m,n}} + 10^{0,1L_{m,f}}] \quad (18)$$

Sendo,

n = representa o NPS mais próximo do receptor;

f = representa o NPS mais afastado do receptor, ou seja, da faixa seguinte.

Finalmente, o nível de pressão sonora para a rua como um todo é dado por:

$$L_r = L_m + k \quad (19)$$

Sendo,

k = termo adicional para o efeito de atenuação de cruzamentos controlados por semáforos e outras interseções.

2.6.2. ISO 9613-2:1996

A norma ISO 9613-2 – *Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation* – descreve um método para calcular a atenuação do som durante a propagação ao ar livre, a fim de prever os níveis de ruído ambiental a uma distância de uma variedade de fontes. Ainda, mostra e exemplifica a complexidade de incluir em toda a física modelada os fatores mais relevantes que interferem na propagação sonora atmosférica. Com isto, qualquer que seja a modelagem, se é analítica ou numérica, deve-se obedecer às recomendações da aplicação de fatores de correção nos modelos de mapas de ruído. Dessa forma, a acurácia dos modelos depende notadamente da qualidade em que os fatores de correção que são implementados. Consequentemente, a seguir é apresentado uma breve descrição e os procedimentos genéricos sobre a aplicação deste método de cálculo.

A ISO 9613-2 define de forma global a equação básica para o cálculo do nível de pressão sonora, considerando uma única fonte sonora pontual como referência.

$$L_{fT}(DW) = L_w + D_c - A \quad (20)$$

Sendo,

$L_{fT}(DW)$ = nível de pressão sonora ponderado em A gerado por uma fonte pontual;

L_w = nível de potência sonora desta fonte;

D_c = fator de correção da diretividade da fonte;

A = atenuação sonora advinda da propagação do som na atmosfera.

Todos estes prévios descritores são medidos em bandas de oitava.

Posteriormente, os principais elementos que fazem parte do fenômeno da atenuação sonora modelada originalmente na Eq. (20) são contabilizados na Eq. (21), que por sua vez mostra tais elementos em sua forma simplificada,

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{mis} \quad (21)$$

Sendo,

A_{div} = atenuação devido à divergência geométrica;

A_{atm} = atenuação advinda da absorção atmosférica;

A_{gr} = atenuação pelo efeito da superfície do solo;

A_{bar} = atenuação devido a elementos que atuam como barreiras acústicas;

A_{mis} = atenuação devido a efeitos diversos e combinados.

Como nota, no termo A_{mis} inclui-se a atenuação de três novos termos, que são: (i) através de áreas verdes, genericamente denominadas de folhagens, (ii) propagação e atenuação em indústrias e (iii) propagação e atenuação através de áreas construídas, o que trata especificamente sobre áreas residenciais.

2.6.3. Cálculo do projeto de barreiras acústicas via ISO 9613-2

Barreiras acústicas são estruturas introduzidas entre a fonte emissora e um receptor, sendo a função principal atenuar a transmissão do som. Na ISO 9613-2 - Parte 2, a atenuação é calculada através da perda por inserção ou *Insertion Loss*. O NPS é quantificado na posição do receptor, com e sem a inserção da barreira acústica.

Conforme a ISO 9613-2, aplica-se a Eq. (22) para o cálculo da atenuação para barreiras acústicas, considerando o caso de atenuação por difração na borda superior da barreira.

$$A_{bar} = D_z - A_{gr} > 0 \quad (22)$$

Sendo,

A_{bar} = atenuação devido aos elementos que atuam como barreiras acústicas, em dB;

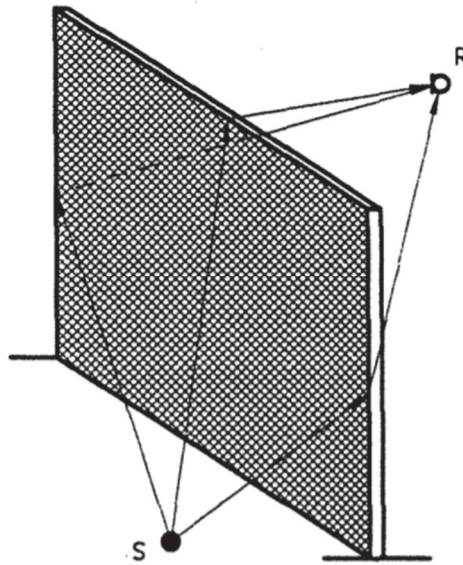
D_z = atenuação devido a difração, em dB;

A_{gr} = atenuação pelo efeito da superfície do solo sem a presença da barreira, em dB

Para barreiras com a atenuação nas laterais, considera-se somente o termo, $A_{bar} = D_z > 0$.

A FIGURA 6 mostra o efeito do caminho de propagação devido a difração, a qual pode ocorrer na borda superior ou nas bordas laterais de uma barreira.

FIGURA 6 – CAMINHOS DE DIFRAÇÃO NUMA BARREIRA ACÚSTICA



FONTE: ISO 9613-2 (1992, p. 14).

Como simplificação aplica-se para a Eq. (22) situações que envolvam a difração do som pelo caminho mais crítico de transmissão. Adicionalmente, para elevados NPS e valores de L_{Aeq} , barreiras de altura superior a 5 m e com presença de múltiplas fontes de ruído em ambiente industrial, a norma sugere a aplicação da Eq. (23) para o cálculo da atenuação. Para situações de cálculo do ruído rodoviário termos devem ser adicionados a Eq. (23), como forma de correção.

$$D_z = 10 \log[3 + (C_2/\lambda)C_3zk_{met}] \quad (23)$$

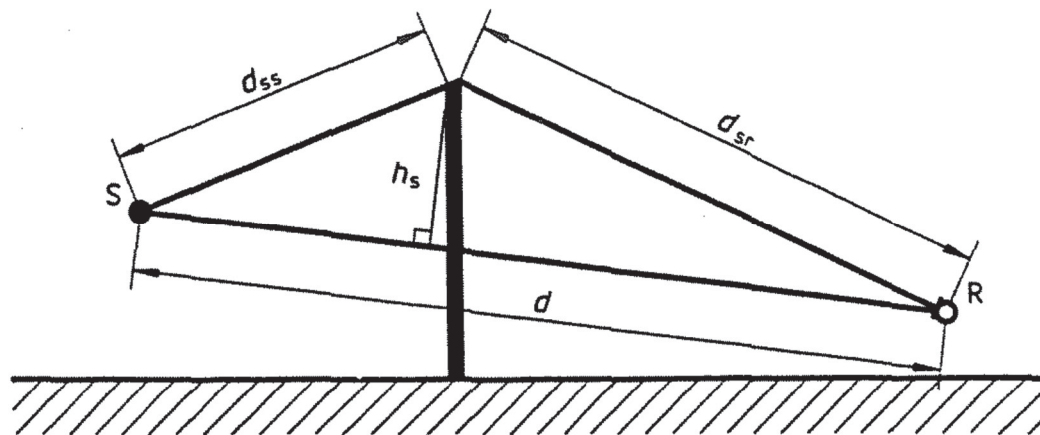
Sendo,

C_2 = efeito das reflexões do chão, sendo que na maioria dos casos $C_2 = 20$;

C_3 = fator para o caso de somente uma difração, sendo neste caso $C_3 = 1$.

A FIGURA 7 evidencia este caso, onde λ é o comprimento de onda nominal em metros, calculado nas bandas médias para as bandas de oitavas, z é a diferença do tamanho do comprimento de caminho de transmissão e k_{met} é o fator de correção meteorológica.

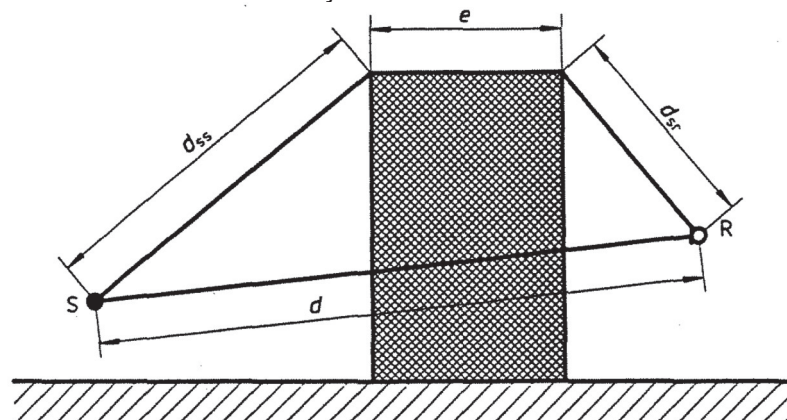
FIGURA 7 – CONFIGURAÇÃO GEOMÉTRICA NO CÁLCULO DE ATENUAÇÃO COM BARREIRA



FONTE: ISO 9613-2 (1992, p. 14).

No que tange sobre z , este pode ser calculado para dois casos: (i) única difração e (ii) múltiplas difrações. Por sua vez a FIGURA 7 mostra a disposição das variáveis para o caso (i) e a FIGURA 8 para o caso (ii).

FIGURA 8 – CÁLCULO DA DIFERENÇA PARA MÚLTIPLOS CAMINHOS DE DIFRAÇÃO



FONTE: ISO 9613-2 (1992, p. 15).

Para cada um dos termos presentes nas Eqs. (20) e Eqs. (22), a ISO 9613-2 levanta uma sequência de hipóteses acerca da validade das restrições sobre o distanciamento ideal para aplicar cada fator de correção. Uma atenção especial é dada para os efeitos de reflexão sobre a barreira, para a qual a norma faz sucinta referência ao nível de potência sonora associada a cada fonte e ao seu respectivo fator de diretividade, que também é função do ângulo de incidência. Em face dessa consideração e das demais, a referida norma elenca os erros de acurácia atreladas a aplicação das equações mostradas nesta seção. A TABELA 1 mostra tal relação:

TABELA 1 – RELAÇÃO ENTRE A ALTURA E A DISTÂNCIA DA FONTE E DO RECEPTOR

ALTURA (h) – m		DISTÂNCIA (d) – m	
0 < h < 5		0 < d < 100	100 < d < 1000
5 < h < 30		40	35

* h é altura média entre a altura da fonte e do receptor, e informa o caminho de transmissão; d é a distância entre a fonte e o receptor.

FONTE: ISO 9613-2 (1992, p. 15).

Para mais detalhes o leitor deve consultar a norma ISO 9613-2. Finalmente, após a modelagem de cada um dos elementos da Eq. (20), pode-se calcular o nível pressão de sonora equivalente, dado por:

$$L_{AT}(DW) = 10 \log \left\{ \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^8 10^{0,1[L_{fT}(ij)+A_f(j)]} \right] \right\} \quad (24)$$

Sendo,

L_{AT} = o nível de pressão sonora ponderado em A, dado pela contribuição de todas as n fontes de ruído relevantes;

$L_{fT}(ij)$ = nível de pressão sonora ponderado em A gerado por uma fonte pontual identificada por i na faixa de 1 a n ;

$A_f(j)$ = fator de ponderação para as bandas de oitava de interesse, em que j é o índice que informa a respectiva ponderação por banda de oitava entre 63 Hz e 8 kHz.

Para estimativas do nível de pressão sonora equivalente ponderado em A, para longos períodos, adiciona-se na Eq. (24), uma correção devida as condições meteorológicas.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. IMPACTO DO RUÍDO AMBIENTAL

A importância de estudar os impactos que o ruído pode causar à saúde da população é o tema central do relatório da OMS a qual está estabelecendo níveis de pressão sonora mais restritivos, adotando valores máximos de L_{den} de 53 dB(A) e 40 dB(A) para o ruído rodoviário, diurno e noturno respectivamente (WHO, 2018). Para fins de comparação, os valores da norma brasileira, NBR 10151 (ABNT, 2019), estabelecem limites de 55 dB(A) e 50 dB(A) para regiões predominantemente residenciais, configurando deste modo valores superiores aos recomendados pela OMS para a Europa. Conforme Mayor (2018) estes níveis de pressão sonora acima do relatório da OMS favorece o aumento do risco de desenvolvimento de problemas de saúde na população que está exposta a poluição sonora nos centros urbanos.

Com isto, os malefícios que o ruído causa à saúde vão além de patologias relacionadas somente ao incômodo auditivo (STANSFELD, MATHESON, 2003, KING; MURPHY, 2016). O ruído pode agir também para desencadear diversas doenças, as quais incluem mas não se limitam em: aumento do risco de doença cardíaca isquêmica, distúrbios do sono, comprometimento cognitivo em crianças, incômodo, riscos à saúde mental relacionado ao estresse e zumbido (WHO, 2018; OKOKON, et al., 2018). Como consequência, diversos autores trazem um compêndio sobre os possíveis efeitos do ruído na saúde e bem-estar da população (STANSFELD; CLARK, 2011; EZE et al., 2018, SAKHVIDI, et al., 2018; KLOMPMAKER et al., 2019).

Cunha e Silva (2015) mostraram que o ruído pode contribuir para piorar o quadro de saúde de pacientes em clínicas hospitalares, situação está mais sensível no caso de pacientes em recente pós-operatório. A piora no estado de saúde dos pacientes deve-se ao fato de que, os ruídos com alto nível de pressão sonora podem induzir o aumento dos hormônios associados ao estresse, consequentemente gerando um aumento da pressão arterial e do estado de agitação dos pacientes (SEARS et al., 2018, WALLAS et al., 2019).

Por outro lado, numa abordagem mais geral, Loupa et al. (2019) mostraram que o ruído pode ainda interferir na clareza da comunicação entre os médicos e pacientes, assim como, na comunicação entre os médicos com a sua equipe de enfermeiros, e com isto aumenta-se a probabilidade da ocorrência de erros médicos.

Além disso, trabalhos como o de Zannin e Ferraz (2016) mostraram que os níveis de pressão sonora, medidos em hospitais da cidade de Curitiba estão acima dos níveis estabelecidos pela NBR 10152 (ABNT, 2017), sendo que neste estudo foram obtidos L_{eq} de 66,4 dB(A) em salas neonatais, enquanto que o limite máximo deveria estar entre 35 dB(A) e 45 dB(A).

De forma similar, conforme exposto por Cai et al. (2019) os grupos mais sensíveis submetidos à exposição diária ao ruído incluem as escolas, as universidades, e espaços em geral (PAIVA; CARDOSO; ZANNIN, 2019). Especificamente, em ambientes escolares a poluição sonora afeta o desempenho dos estudantes, devido à introdução de um alto ruído de fundo, que contribui para a perda de foco dos alunos e agrava a transmissão da fala dos professores, o que pode gerar a perda da qualidade na relação ensino-aprendizagem (ZANNIN et al. 2013).

De fato, o problema com o ruído ambiental pode reverberar em outros campos, tais como de ordem econômica, como é caso da depreciação de imóveis, diminuição da presença de turistas, perdas econômicas em hotéis e demais fatores (OTTOZ; RIZZI; NASTASI, 2018, TONNE et al., 2018; COLLINS; GRINESKI; NADYBAL, 2019). Com isto, Di et al. (2018) argumenta que o ruído nos centros urbanos deve ser alvo de sistemáticos estudos, visando a identificação das fontes e as melhores configurações, para atenuar seus respectivos ruídos indesejados à comunidade. Em países europeus, já estão consolidadas medidas para conter o avanço da poluição sonora, em vista do reconhecimento de todos os ônus que o ruído pode trazer para a sociedade como um todo (WHO, 2018).

Consequentemente, dentre os problemas que o excesso de ruído pode causar, diversos autores na literatura corrente recomendam sistematicamente a identificação das fontes de emissão. Com isto, verificaram-se tendências das pesquisas da área de estratificar e investigar cada fonte de ruído individualmente para ponderar os efeitos que esta provoca sobre a sua vizinhança, seja esta fonte de ruído rodoviário, aeroviário, ferroviário ou o ruído industrial (JIANG; LI, 2018). Uma vez que apenas um aumento de 3 dB pode ser uma variação relevante, e que não aplicar medidas para evitar o aumento do ruído está se contribuindo para a proliferação dos problemas de saúde da população em geral (ZANNIN et al., 2018).

Dessa forma, quando se avalia os efeitos da exposição ao ruído, muitos são os métodos para a verificação da percepção sobre a paisagem acústica, que pode ser avaliada qualitativamente por meio da aplicação de questionários, como feito por

Paiva, Cardoso e Zannin (2019) e Sun et al. (2019), ou quantitativamente via medições conforme feito por Fiedler e Zannin (2015) e Jiang e Li (2018). Todavia, independentemente do meio de avaliação, procede-se um estudo para estimar o efeito combinado de tais medidas. Designadamente, a primeira etapa constitui-se em investigar a fonte de ruído, que dentro dos centros urbanos podem incluir por exemplo, os ruídos advindos do tráfego veicular e o gerado pelas indústrias. Dessa forma, na seção 3.2 e 3.3 foram analisadas as abordagens de quantificação e identificação destas fontes de forma mais profunda.

3.2. RUÍDO RODOVIÁRIO

Nesta seção são apresentados estudos de casos que mostram os níveis de exposição ao ruído proveniente do tráfego veicular pela população de diferentes regiões do mundo. Com isto, mostrar-se-ão os métodos que os pesquisadores aplicaram e os valores dos níveis de pressão sonora que estes trabalhos determinaram como aceitáveis. De tal modo, verificou-se concomitantemente como é avaliado metodologicamente o ruído do tráfego veicular em zonas urbanas, ainda segundo estes trabalhos.

No Brasil, Paiva, Cardoso e Zannin (2019) realizaram um estudo que envolveu: (i) avaliação do ruído com medições *in situ*, (ii) criação de mapas de ruído em um bairro da cidade de São Paulo, e (iii) aplicação de questionários. O objetivo do trabalho foi averiguar a percepção sonora dos moradores de um bairro, quanto aos efeitos dessa exposição. Assim, os níveis de ruído em todos os pontos medidos excederam o nível crítico para a área, estabelecido em 55 dB(A). Um total de 225 entrevistas foram realizadas e o acentuado incômodo relacionado ao ruído foi relatado por 48,4% dos entrevistados. Observaram-se associações entre morar em áreas expostas ao ruído do trânsito e sentir-se incomodado com esse ruído ($p < 0,001$). Esses resultados sugerem a importância de revisar e atualizar as políticas públicas brasileiras em relação ao ruído ambiental, principalmente nos centros urbanos densamente povoados e com acentuado tráfego veicular.

Na Coreia do Sul, Hong et al. (2018), mostraram que a poluição sonora continua a crescer e as queixas acerca do barulho estão aumentando de forma correlata. No mesmo estudo, mostrou-se que de acordo com um relatório do Instituto Nacional de Pesquisa Ambiental da Coreia, 12,6% e 52,7% da população foram

estimados como expostos a níveis sonoros equivalentes do tráfego rodoviário e ferroviário, respectivamente, que excedem 65 dB (A) durante o dia e 55 dB(A) durante a noite. Estes níveis de ruído do tráfego ferroviário e rodoviário foram continuamente medidos em 52 pontos durante 24 horas com os analisadores B&K 2238 e Larson & Davis 812. Os resultados médios medidos foram de $59,1 \pm 5,6$ dB(A), sendo os valores mínimos e máximos respectivamente de 51 dB(A) e 72,7 dB(A). Ainda segundo Hong et al. (2018), este valor de 59,1 dB(A) é consideravelmente maior do que os relatórios presentes na Inglaterra (10% para o dia e 12,4% para a noite) e na França (26,7% para a noite). Adicionalmente, de acordo com a Comissão Nacional de Resolução de Disputas Ambientais da Coreia do Sul, 85% dos 3495 casos de disputas ambientais na Coreia do Sul nos últimos 25 anos foram causados por ruído e vibração.

Na China, Wang, Chen e Cai (2018) realizaram um estudo na cidade de Guangzhou. Na região de estudo os pesquisadores estratificaram a população em classes, conforme a legislação local, que foram:

- a) Classe 1: inclui áreas residenciais, educacionais, de cuidados de saúde e oficiais, onde os limites de ruído durante o dia e a noite são de 55 dB(A) e 45 dB(A), respectivamente;
- b) Classe 2: inclui áreas mistas comerciais, industriais e residenciais, onde os limites de ruído durante o dia e a noite são de 60 dB(A) e 50 dB(A), respectivamente;
- c) Classe 3: inclui áreas exclusivamente industriais, onde os limites de ruído durante o dia e a noite são 65 dB(A) e 55 dB(A), respectivamente;
- d) Classe 4: inclui os dois lados do tráfego rodoviário e das vias navegáveis interiores, onde os limites de ruído durante o dia e a noite são de 70 dB(A) e 55 dB(A), respectivamente.

Por meio de mapas de ruído calculados pelo programa ArcGIS, determinou-se que o L_{eq} diurno de quatro distritos é ligeiramente maior que o noturno, e o L_{eq} médio no período diurno e noturno na área de estudo está entre 52,8 dB(A) e 51,4 dB(A), respectivamente. Verificou-se que, aproximadamente 50% dos dados estão entre 40 dB(A) e 55 dB(A) durante o dia e a noite. Pode ser observado que cerca de 2% a 4% do L_{eq} em Guangzhou excede 75 dB(A), o que evidenciou forte poluição sonora, segundo Wang, Chen e Cai (2018).

No Chile, no estudo realizado por Suárez e Barros (2014) os resultados gerados através de medições e com o auxílio de mapas de ruído que foram calculados com o *software* Cadna-A, evidenciaram que 17,35% da superfície modelada da cidade

de Santiago apresentou um L_{eq} diurno superior a 65 dB(A). Em termos percentuais, a zona central da cidade foi a que apresentou maior área superficial com elevados níveis de ruído, com 68,32%. Em relação às superfícies modeladas, a zona sul foi a maior área com os níveis superiores a 65 dB(A) e a zona central contribuiu com a menor superfície acima desse valor. Isto mostrou que as regiões centrais estão mais suscetíveis à poluição sonora.

Na mesma linha dos resultados de Suárez e Barros (2014) e Paiva, Cardoso e Zannin (2019), o trabalho de Han et al. (2018) revelaram uma tendência nas grandes capitais e cidades mundiais da ocorrência da poluição sonora advinda do tráfego veicular e sua correlação, cerca de ($r = 0,508$, $p < 0.01$), com o processo de urbanização. Para tal afirmação, Han et al. (2018) asseguraram que devido ao processo de urbanização, os centros urbanos passaram por diversas modificações, que muitas das vezes não foram planejadas em relação ao conforto acústico. Como corolário, tende-se a piora e o agravamento da poluição sonora, e um exemplo disso é mostrado por Ögren, Molnár e Barregard (2018). Os autores realizaram predições do nível de ruído em relação a evolução do processo de urbanização na cidade de Gothenburg – Suécia. Constataram que entre 2015 e 2035 a poluição sonora sofrerá considerável aumento e que medidas de controle devem ser implementadas.

Zannin et al. (2019) realizaram uma avaliação do ruído rodoviário em duas importantes avenidas da cidade de Curitiba. Todos os 27 pontos monitorados apresentaram valores acima do permitido por lei, sendo que mais de 85% dos veículos foram classificados como leves. Os autores indicam os mapas de ruído como medida de controle contínua na luta contra a poluição sonora, sugerindo ainda a criação de um banco de dados para um acompanhamento preciso dos efeitos das medidas de mitigação.

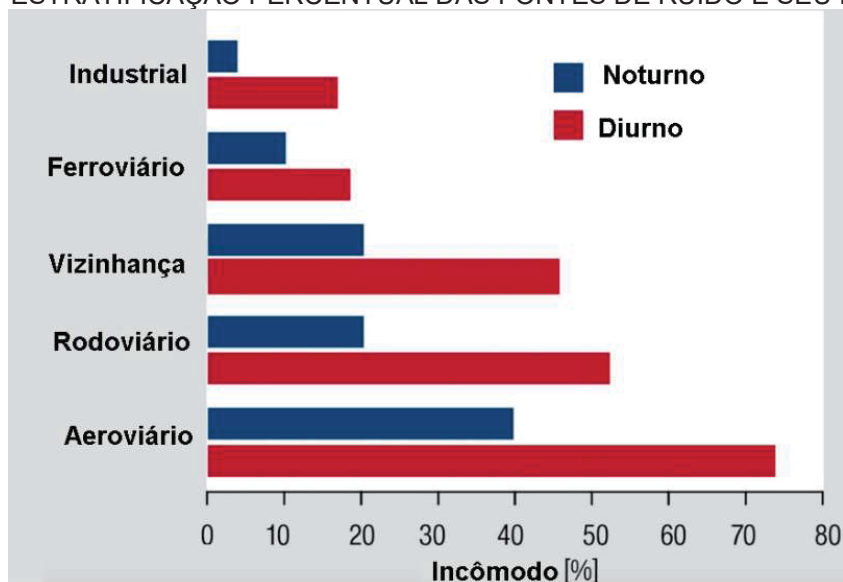
Com os dados expostos nesta seção, verificou que na maioria das cidades estudadas os níveis de ruído estavam superiores aos valores recomendados pelas legislações locais. Dessa forma, isso mostra que o problema da poluição sonora ainda não foi encarado como um grave fato nos centros urbano (KING; MURPHY, 2016).

3.3. RUÍDO INDUSTRIAL

Hahad et al. (2018) realizaram um estudo com questionário aplicado em 14.639 participantes que responderam a respeito das fontes de ruído qual era o que

causava mais incômodo; sendo listados o ruído industrial, ferroviário, da vizinhança, rodoviário e aeroviário. Foram considerados dois períodos - diurno e noturno. Os resultados são mostrados na FIGURA 9:

FIGURA 9 - ESTRATIFICAÇÃO PERCENTUAL DAS FONTES DE RUÍDO E SEU INCÔMODO



FONTE: Adaptado de Hahad et al., (2018, p. 82).

A FIGURA 9 mostra que o ruído industrial foi a fonte de ruído com menos queixas de incômodo citada pela população. Resultado similar foi identificado previamente por Van Den Berg (2011) e Guarnaccia, Quartieri e Ruggiero (2014). Todavia, este é um resultado esperado, uma vez que o ruído industrial está mais relacionado sob as perspectivas de uma avaliação ergonômica da quantidade de dose de ruído que os colaboradores estão expostos dentro da indústria seguindo as recomendações da ISO 1999, do que sobre seu impacto sobre a população (ZARE et al., 2019).

Ali (2011) conduziu um estudo no Egito onde foram analisadas 15 diferentes categorias de indústrias, das quais incluíram indústrias de produção de bebidas e alimentos, usina elétrica e siderúrgica. Foram realizadas medições com duração de 10 minutos durante 8 horas consecutivas, obtendo o nível de pressão sonora equivalente L_{eq} ponderado em A. Apesar de estarem locadas em diferentes zonas próximas a residências, escolas e regiões destinadas ao uso industrial, todos os níveis ultrapassaram os limites permitidos pela lei egípcia. Os níveis de ruído contínuos equivalentes variaram de 70 dB(A) a 100 dB(A). No mesmo estudo, distribuiu-se 1000

questionários aos trabalhadores das fábricas analisadas com o objetivo de investigar atitudes e opiniões a respeito do ruído industrial. Um total de 683 questionários foram respondidos. Destes, 74,2% dos entrevistados afirmaram que se sentem perturbados pelo ruído industrial, enquanto o restante, 25,8%, julga que o ruído é uma consequência das atividades desenvolvidas, sendo necessário ter “paciência”.

Zannin, Cortivo e Ferreira (2016) analisaram o ruído emitido por uma indústria de celulose e papel localizada em um município do Estado do Paraná. Identificou-se os pontos de maior impacto à comunidade, sendo definidas 4 etapas do processo produtivo: preparo de madeiras; fabricação de fibras; utilidades e recuperação; e máquinas de papel. A partir das medições dos níveis sonoros por banda de frequência em cada ponto e levantamentos topográficos da região foi realizada uma simulação computacional com o *software* Cadna-A, aplicado para produzir mapas do impacto sonoro na região. Para a validação dos dados simulados, Zannin, Cortivo e Ferreira (2016) realizaram o monitoramento dos níveis de pressão sonora em seis pontos sensíveis da cidade estudada. Os resultados, mostraram que todas as regiões na vizinhança da fábrica estavam com níveis de pressão sonora superior ao estipulado pela NBR 10151/2000.

Guarnaccia, Quartieri e Ruggiero (2014) estudaram o ruído emitido por pelos equipamentos de uma indústria de construção de máquina e ferramentas para perfuração de subsolo. A análise dos autores incluiu medições internas e externas. A indústria analisada contava com 4 tipos de máquinas diferentes, sendo 1 pantógrafo, 4 tornos mecânicos, 1 centro de usinagem e 2 escariadores. As simulações foram realizadas através do *software* RAP-ONE, onde foram inseridos os níveis de potência das máquinas, as dimensões da planta industrial, bem como os materiais que a compõe. Guarnaccia, Quartieri e Ruggiero (2014) também estimaram os níveis de exposição ao ruído a que os trabalhadores estiveram expostos, porém os valores não ultrapassam os limites regulamentados pelas leis italianas, de 87 dB(A) para a dose diária de exposição.

Na China, no ramo industrial e da construção civil, Li et al. (2016) relatou que, com base em 350 medições *in situ*, mais de 95% dos funcionários estavam expostos ao ruído superior a 85 dB(A), limite estipulado pelas autoridades chineses para uma exposição diária de 8 horas.

Bozkurt e Demirkale (2017) procederam com um trabalho completo sobre a avaliação do impacto de um conjunto de indústrias sobre a comunidade. Foram

realizadas medições *in situ* e simulações de mapas de ruído com o *software* SoundPlan. Para modelar a emissão das indústrias, Bozkurt e Demirkale (2017) especificaram o valor de potência sonora de cada indústria em função de suas características de produção. Estes dados são mostrados na TABELA 2, e a partir destes valores foram caracterizadas cada fonte sonora no *software* SoundPlan.

TABELA 2 – NÍVEL DE POTÊNCIA SONORA EM FUNÇÃO DO TIPO DE INDÚSTRIA

TIPOS DE INDÚSTRIAS	NÍVEL DE POTÊNCIA SONORA – dB(A)
Indústria metal mecânica	105,1
Fábrica de placas de aço	91,0
Fabricação de Tubos de Aço	95,7
Central de tornos	85,2
Fabricação de Moldes de Aço	88,3
Fundição	97,5

FONTE: Bozkurt e Demirkale (2017, p. 62).

Para fins de calibração, medições com 5 minutos de duração foram realizadas em 16 pontos, com o analisador sonoro de B&K 2260, segundo os procedimentos das normas ISO 1996-1 e ISO 1996-2. Bozkurt e Demirkale (2017) mediram o ruído rodoviário e industrial, e os resultados globais das medições apresentaram L_{eq} de 71,1 dB(A) máximo para os ruídos industrial e rodoviário conjuntos, enquanto, somente para o ruído rodoviário o nível máximo foi de 66,5 dB(A). Em ambos os cenários foi relevada a poluição sonora na comunidade, considerando o zoneamento misto segundo a legislação local, cujo limite é de 65 dB(A).

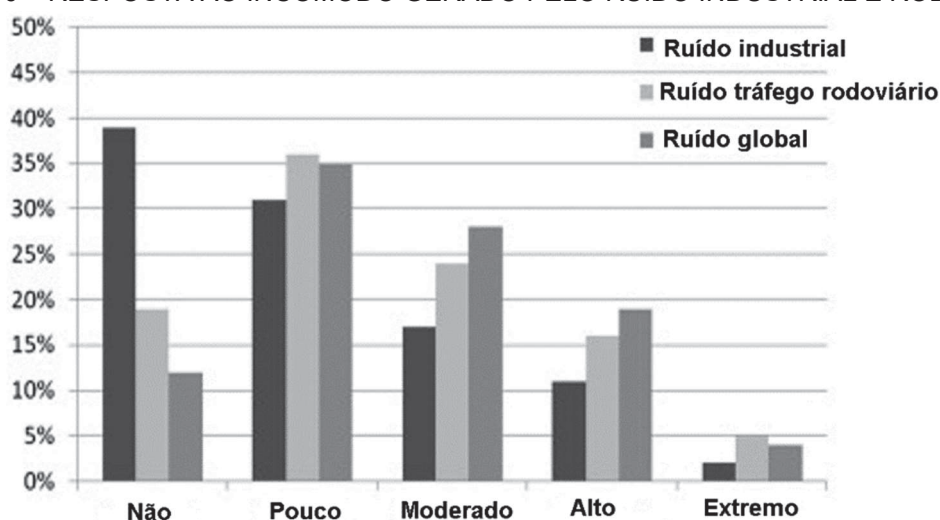
3.4. COMPOSIÇÃO DO RUÍDO RODOVIÁRIO E INDUSTRIAL

Conforme Leung et al. (2017) a população no ambiente urbano é frequentemente exposta a ambientes acústicos contendo várias fontes de ruído. Alguns são ruídos indesejados, por exemplo o ruído do tráfego rodoviário. No entanto, presume-se na literatura que as respostas ao incômodo foram apenas induzidas por uma única fonte de ruído dominante. Na verdade, o incômodo pode não ser apenas induzido por uma única fonte sonora, mas sim, pela exposição combinada de fontes diferentes de ruído, como o tráfego rodoviário, ferroviário, aeroviário e o ruído industrial. Esta superposição de fontes pode provocar reações mais extensas do que

a exposição a uma única fonte de ruído com o mesmo nível de pressão sonora (WANG; KANG, 2011).

Pierrette et al. (2012) realizaram um estudo para quantificar o efeito combinado do ruído do tráfego veicular e o ruído industrial. Para tanto, foi utilizado um critério quantitativo com o objetivo de ponderar o efeito combinado dos ruídos. Dessa forma, foram apresentados 3 valores de L_{eq} , sendo estes: um valor de L_{eq} proveniente do tráfego; outro para o ruído industrial; e ainda um terceiro valor gerado pela composição destes dois. Adicionalmente, do ponto de vista subjetivo, os autores aplicaram questionários à 99 participantes. Para investigar novos cenários, usou-se mapas de ruído para a região de estudo. Os resultados dos questionários foram consolidados na FIGURA 10:

FIGURA 10 – RESPOSTA AO INCÔMODO GERADO PELO RUÍDO INDUSTRIAL E RODOVIÁRIO



FONTE: Adaptado de Pierrette et al., (2012, p. 183).

Através método estatístico de Análise de Fatores para os dados de medições do L_{eq} , verificou-se equivalência no incômodo provocado pelo ruído rodoviário e o industrial. Todavia, quando foram avaliadas subjetivamente as respostas dos entrevistados em relação a opinião sobre a área industrial, os participantes tiveram uma boa imagem, sendo que 98% deles afirmaram que a indústria contribui para o desenvolvimento econômico da região. Resultado similar foi encontrado por Guarnaccia, Quartieri e Ruggiero (2014), como citado previamente, que embora a indústria gere ruídos acima da legislação, a população não se sente incomodada com este.

Para Morel, Marquis-Favre e Gille (2016), a maioria das pesquisas que objetivaram quantificar o efeito combinado dos ruídos de diferentes fontes enfrentam diversos problemas, devido sobretudo à complexidade de modelar e quantificar um único descritor que correlacione e majore pesos para cada fonte.

Com isto, foi possível mostrar que o problema de avaliar os efeitos combinados das fontes de ruído encontra-se em aberto. Dessa forma, necessita-se de mais pesquisas nesta área, fato este também evidenciado por Morel, Marquis-Favre e Gille (2016). Com isto, o presente trabalho vem trazer para a literatura mais uma contribuição para esta temática.

3.5. VALIDAÇÕES DO USO DE MAPAS DE RUÍDO

Como pode ser constado nas seções 3.3 e 3.4, é habitual na literatura a aplicação de simulações para verificar e projetar a propagação do ruído e as melhores abordagens de controle deste. Todavia, para a efetiva aplicação dos mapas de ruídos estes devem manter elevada fidedignidade com as condições reais ao qual se pretende modelar. Por este viés, portanto, é pertinente investigar as abordagens presentes na literatura para assegurar que esta fidedignidade seja obtida (HORNIX, 2016).

Para a elaboração de mapas de ruído deve-se seguir uma sequência de passos encadeados. Embora com o avanço da computação e das técnicas numéricas de simulação, sem a presença de um operador que entenda os processos de modelagem o mapeamento acústico pode perder sua efetividade. Além disso, existem vários programas comerciais que podem ser aplicados, tais como SoundPlan, Predictor, LIMA, Cadna-A, RAP-ONE, HARMONOISE/IMAGINE, dentre outros, o que torna ainda mais complexo a intercambialidade dos processos de modelagem de um programa para outro.

Em face a esta quantidade de programas comerciais para a modelagem do ruído ambiental, existe ainda, uma considerável gama de normativas e modelos de cálculo. Murphy e King (2010) mostraram por meio de um estudo de revisão da literatura os principais métodos de cálculo para o ruído rodoviário, industrial e ferroviário. Estes resultados são sintetizados no QUADRO 3:

QUADRO 3 - MODELOS DE CÁLCULO DE RUÍDO

RUÍDO RODOVIÁRIO	RUÍDO FERROVIÁRIO	RUÍDO INDUSTRIAL
RVS 3.02	RMR (SRM 11)	OAL 28
NMPB/XPS 31–133	NBT85	ISO9613
Temanord 525	Temanord 524	Nordforsk 32
RLS-90	NMPB/XPS 31–133	BS5228
CRTN	Schall 03	FLULA
RMW 2002 (SRM I + II)	CRN	--
StL 86	SEMIBEL	--

FONTE: Murphy e King (2010, p. 293).

Peng, Parnell e Kessissoglou (2019) revelam que há diversas normas para assegurar a validação dos resultados dos mapas de ruído e calcular os erros a estes associados. Algumas destas normativas são: *UK's calculation of road traffic noise* – CRTN – (Inglaterra); *Directive 2002/49/EC*, conhecida como *Environmental Noise Directive* (END) – (Europa); DIN 45687 – (Alemanha); ISO 9613 – (Norma internacional); ASJ-RTN, *American model* - FHWA TNM (Estados Unidos da América), Nord2005, CNOSSOS-EM e RSL 90 (Alemanha). Além dos erros na modelagem, que são apresentadas de forma diferente em cada norma, existe adicionalmente a incerteza que é adquirida e propagada pela própria medição *in situ*. Esta incerteza pode ser da ordem de 3 dB(A) (CALIGIURI, 2007).

Diante deste contexto, na TABELA 3 foram consolidadas revisões sobre os distintos valores aplicados para a validação do uso de mapas de ruído. Consequentemente, com base em diversos trabalhos pesquisados estratificou-se os valores de referência para calibração e validação dos mapas de ruído.

TABELA 3 - LIMITES DE TOLERÂNCIA DO ERRO EM MAPAS DE RUÍDO

AUTORES (ANO)	TEMPO DE MEDIÇÃO	ERRO TOLERADO – dB(A)
Jónsson e Jacobsen (2008)	Não citado	± 3,00
Licitra e Memoli (2008)	Não citado	4,60
Romeu et al., (2011)	15 min	± 2,00
Murphy e King (2011)	15 min	3,00
Mioduszewski et al., (2011)	1 min	2,40
Zannin e De Sant'ana (2011)	3 min	± 4,60
Guedes e Leite (2011)	15 min	± 2,00
Morley et al, (2015)	Não citado	± 4,46
Gulliver et al., (2015)	10 min	- 9,00
Zannin, Engel, Fiedler e Bunn (2013)	1 h, 15 min	± 4,40
Fiedler, Zannin (2015)	15 min	± 4,40

AUTORES (ANO)	TEMPO DE MEDIÇÃO	ERRO TOLERADO – dB(A)
Bozkurt e Demirkale (2017)	5 min	+ 10,60
Debnath e Singh (2018)	60 min	± 0,80
Cai et al., (2019)	20 min	± 3,50
Paiva, Cardoso e Zannin (2019)	15 min	+ 3,50

FONTE: A autora (2019).

Entretanto, para Murphy e King (2010), a problemática que se instaurara para a validação dos mapas de ruído é complexa e exige mais estudos para quantificar e ponderar as incertezas associadas as variáveis dos modelos, principalmente quando se aplica a Diretiva 2002/49/EC. Neste sentido, a fala de Hepworth e Trow (2006), já mostrava esta preocupação: *“The effect of efficiency techniques on the accuracy of results is very variable” and that “there is no direct correlation between the reduction in calculation time and the level of error introduced”*.

O Grupo de Trabalho e Avaliação de Exposição ao Ruído, ou em inglês, *Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN)*, define as incertezas no processo de modelagem de ruído e a tolerância em relação aos resultados do mapeamento do ruído frente aos valores medidos. De acordo com o WG-AEN, uma diferença entre os resultados da medição e os resultados do programa de simulação é normal devido ao processo de modelagem de ruído. E os dados de entrada do modelo definidos pelo WG-AEN são mostrados no Guia de Boas Práticas para o Mapeamento Estratégico de Ruídos (WG-AEN, 2006).

3.6. ABORDAGENS MITIGADORAS DE ATENUAÇÃO DE RUÍDO

Com base nos processos de identificação e modelagem das fontes de ruídos, conforme descrito nas seções 3.1 a 3.4, e com a devida calibração dos mapas de ruído, ver seção 3.5, tem-se todos os elementos necessários para adentrar na etapa do projeto de medidas que visam atenuar os efeitos das fontes de ruído, propósito desta seção. No entanto, deve-se atentar que este é um processo complexo que exige um estudo combinado e multidimensional dos fatores que podem impactar na resposta dos sistemas como um todo. Por exemplo, ao tentar ajustar uma solução para o ruído industrial pode-se, por exemplo agravar o ruído rodoviário, ou vice-versa.

Segundo Ögren, Molnár e Barregard (2018), a exposição a elevados níveis de ruído rodoviário na fachada de edifícios está continuamente aumentando, tanto devido à urbanização quanto ao aumento geral do fluxo do tráfego. Este estudo investigou como as diferentes medidas de redução de ruído influenciariam a exposição ao ruído em toda a cidade em Gotemburgo – Suécia, com cerca de 550.000 habitantes. A exposição ao ruído foi estimada em vários cenários diferentes para o período de 2015 a 2035, usando o método nórdico padronizado de previsão de ruído, que conta com medições de fluxo de tráfego e estatísticas populacionais. Os cenários basearam-se na redução dos limites de velocidade, na redução dos fluxos de tráfego, na introdução de veículos com maior potência elétrica e na introdução de pneus e pavimentos de baixo ruído. As medidas mais eficazes foram a introdução de pneus ou pavimentos de baixo ruído, que, em comparação com os habituais, produziram entre 13% e 29% de redução no número de habitantes expostos a um nível equivalente de 55 dB(A).

Zannin, Cortivo e Ferreira (2016) propuseram o uso de silenciadores nos maquinários, venezianas acústicas e enclausuramento dos equipamentos mais ruidosos. A partir da simulação do mapa de ruído, os autores concluíram que dos 23 pontos previamente situados na área de estudo, apenas 12% atenderam ao critério da NBR 10.151, e, quando considerado o tratamento acústico em todas as fontes identificadas, passou a 96%. Para Zannin, Cortivo e Ferreira (2016), “os resultados obtidos comprovam a importância da simulação computacional, onde é possível levantar a contribuição de cada equipamento no ruído total gerado para o meio ambiente, permitindo o estabelecimento de ações de controle eficazes”.

Casas et al. (2016) simularam duas soluções para a mitigação do ruído industrial. A primeira foi a colocação de barreiras, ou enclausuramento individuais nos equipamentos de interesse; e a segunda foi a colocação de barreiras externas à fábrica. A colocação de barreiras individuais não foi suficiente para a contenção do ruído que se propaga às regiões circunvizinhas, enquanto que a colocação de barreiras externas foi eficaz tanto para o ruído contínuo quanto para o de impacto. A segunda indústria estudada também apresentou ruído excedente ao permitido pela legislação – 60 dB(A) durante o dia para ruído contínuo e 60 dB(C) durante a noite para ruído de impacto. Uma vez que mais de 77% da área externa apresenta ruído excedente, conclui-se que as medidas de controle de emissão de ruído devem ser abranger toda a fábrica e não apenas pontos isolados. Assim sendo, foram simuladas barreiras acústicas com o intuito de reduzir a propagação do ruído às regiões

circunvizinhas. Tanto as medições, quanto as simulações da terceira fábrica mostraram que os níveis de pressão sonora emitidos pela indústria não ultrapassam os tolerados por lei.

Bozkurt e Demirkale (2017) analisaram quatro cenários de simulações para um aglomerado de unidades industriais, sendo eles: (i) 100% de janelas abertas; (ii) 50% de janelas abertas; (iii) uma única janela em cada indústria e, (iv) todas as janelas fechadas. Através do *software* SoundPLAN estimou-se uma média de quantas pessoas são afetadas pelo excesso de ruído na região analisada por período (07:00 às 19:00; 19:00 às 23:00; 23:00 às 07:00), segundo a legislação turca; sendo a maior – 20,77% - no período da madrugada com 100% de janelas abertas. Adicionalmente, Bozkurt e Demirkale (2017) constataram por modelagem matemática que o nível de pressão sonora é mais sensível a pequenas variações no número de janelas abertas quando a maioria das janelas está fechada. Salvo casos simples, onde a modelagem pode ser feita com relações matemáticas simples e conhecidas, uma análise completa da propagação do som exige inúmeras informações que influenciam os resultados. Os *softwares* de predição acústica conseguem processar esses dados, fornecendo resultados confiáveis.

Em condições de 50% de janelas abertas nas unidades fabris, Bozkurt e Demirkale (2017) simularam dois tipos de barreiras acústicas: de absorção e de reflexão. Segundo os autores, houve uma diferença de 14,13% na média de pessoas afetadas, no período da madrugada, com barreira de absorção. Para o período diurno, houve uma diferença 11,21% e 11,23%, quando instaladas barreiras de reflexão e absorção, respectivamente.

Guarnaccia, Quartieri e Ruggiero (2014) conseguiram associar os resultados obtidos em campo com as simulações das áreas internas e externas à indústria estudada. Uma vez que a precisão das modelagens matemáticas se relaciona com as observações de campo, a análise conjunta dos dados possibilita um melhor entendimento dos fenômenos (BOZKURT; DEMIRKALE, 2017; LERTSAWAT; TANGJAITRONG; AREEBHOL, 1999).

Segundo Casas et al. (2016), em virtude de as fontes sonoras serem múltiplas dentro da fábrica é necessário aproximá-las a fontes pontuais localizadas adjacentes às paredes externas à edificação, ao longo de todo perímetro. A localização de unidades industriais deve ser prevista levando em conta a saúde pública (BOZKURT; DEMIRKALE; 2017). Ainda segundo os autores, cuidados no controle do ruído gerado

por atividades de trabalho são necessários quando se constrói fábricas próximas de área urbanas, sendo preciso quantificar o impacto ambiental do ruído em áreas circunvizinhas.

Em seu estudo, Ali (2011) perguntou aos entrevistados: “O ruído industrial deveria ser legalmente controlado?”. Assim, 87% das pessoas afirmaram que sim, enquanto 2% acreditam que não deveria haver controle e 5% foram indiferentes. Quanto às reclamações, 41% dos entrevistados responderam que gostariam de queixar-se às autoridades, 23% gostariam de se mudar para um trabalho mais silencioso, enquanto 17% gostaria que a indústria onde trabalham tivesse isolamento sonoro.

4. METODOLOGIA

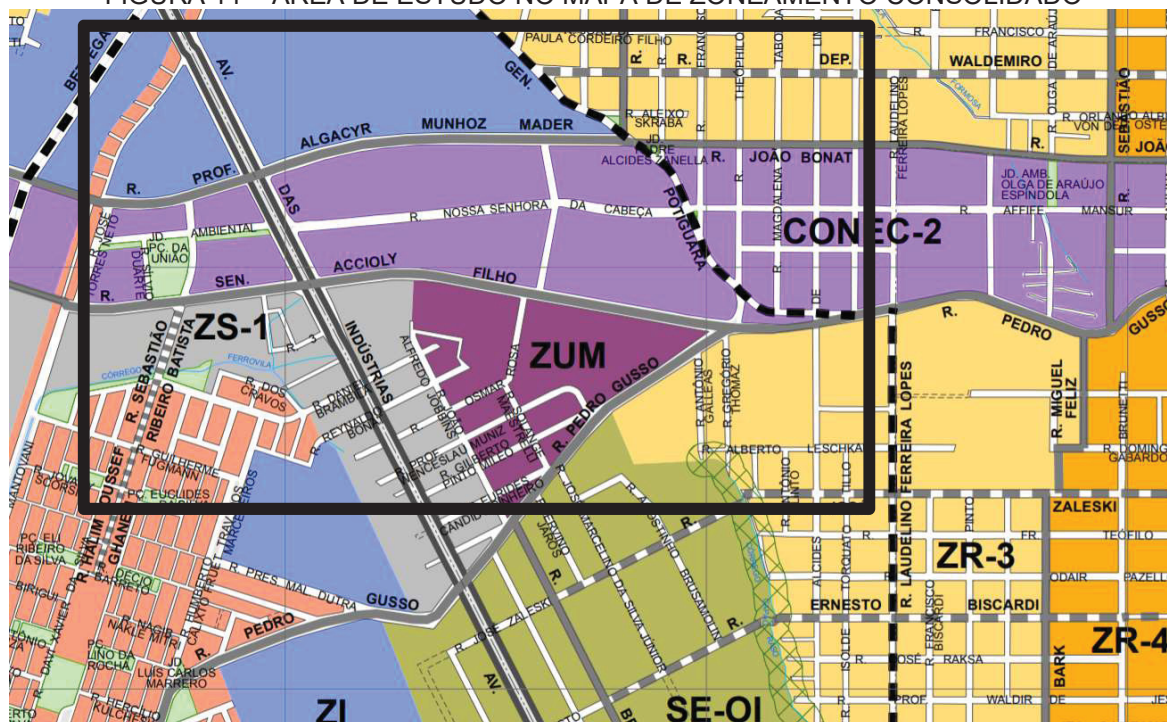
A seguir será apresentada a metodologia e equipamentos utilizados para a realização do objetivo proposto no presente trabalho.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Cidade Industrial de Curitiba é o maior bairro em extensão territorial de Curitiba, possuindo 44,31 km², e contando com 23% do total de indústrias do município, segundo a Companhia de Desenvolvimento de Curitiba (2019). Por concentrar tamanha fração da atividade industrial, aliada a proximidade de importantes acessos às rodovias, o bairro foi eleito como objeto do presente estudo.

Conforme o Mapa de Zoneamento Consolidado do Município de Curitiba, a área de estudo enquadra 6 diferentes zonas: Zona Residencial 3 (ZR-3); Setor Especial de Ocupação Integrada (SE-OI); Setor Especial Conector – Conectora 2 (CONEC-2); Zona de Uso Misto (ZUM); Zona de Serviço 1 (ZS-1); Zona Industrial (ZI). A FIGURA 11 ilustra o Mapa de Zoneamento Consolidado com a área de estudo destacada em preto.

FIGURA 11 – ÁREA DE ESTUDO NO MAPA DE ZONEAMENTO CONSOLIDADO



FONTE: Adaptado de IPPUC (2018).

Na região analisada foram identificadas 6 diferentes indústrias, sendo elas categorizadas segundo o ramo de atividade:

- 1) Gráfica de grande porte (dividida em 3 plantas industriais);
- 2) Indústria de embalagens e artefatos de papel;
- 3) Indústria de eletrodomésticos;
- 4) Indústria de usinagem;
- 5) Fabricação de equipamentos para torrefação;
- 6) Fabricação de equipamentos para fabricação de produtos em madeira.

Cada indústria foi associada ao limite máximo dos níveis de pressão sonora toleradas pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002, segundo sua zona de uso, conforme apresentado no QUADRO 4:

QUADRO 4 – INDÚSTRIAS, ZONAS DE USO E LIMITES DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA

RAMO DE ATIVIDADE	ZONA DE USO	DIURNO dB(A)
Gráfica de grande porte (planta 1)	ZUM	65
Gráfica de grande porte (plantas 2 e 3)	CONEC - 2	65
Indústria de embalagens e artefatos de papel	ZUM	65
Indústria de eletrodomésticos	ZS – 1	70
Indústria de usinagem	ZI	70
Fabricação de equipamentos para torrefação	ZI	70
Fabricação de equipamentos para fabricação de produtos em madeira	ZI	70

FONTE: Adaptado de Prefeitura Municipal de Curitiba (2002).

Na análise do ruído rodoviário priorizou-se as ruas que circundam as indústrias analisadas. O QUADRO 5 indica as vias, bem como o tipo de tráfego, tipo de pista, velocidade máxima a ser considerada e material constituinte:

QUADRO 5 – VIAS E SUAS CARACTERÍSTICAS

VIA	TRÁFEGO	PISTA	VELOCIDADE MÁXIMA (km/h)	MATERIAL
AV DAS INDÚSTRIAS – Sentido Bairro Fazendinha	Simples	2	60	Asfalto
AV DAS INDÚSTRIAS – Sentido Bairro Pinheirinho	Simples	2	60	Asfalto
RUA GENERAL POTIGUARA	Duplo	2	60	Asfalto
RUA NOSSA SENHORA DA CABEÇA	Duplo	2	60	Asfalto
RUA OSMAR ROSA	Duplo	2	60	Asfalto
RUA PEDRO GUSSO	Duplo	2	60	Asfalto
RUA PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER	Duplo	2	60	Asfalto
RUA SENADOR ACCIOLY FILHO	Duplo	2	60	Asfalto

FONTE: A autora (2019).

4. Complexo Educacional do Sistema FIEP/SESI/SENAI;
5. Centro Tecnológico da Universidade Positivo – Câmpus CIC;
6. Centro de Educação Básica para Jovens e Adultos (CEEBJA) – CIC;
7. Indústria de eletrodomésticos;
8. Fabricação de equipamentos para fabricação de produtos em madeira;
9. Indústria de usinagem;
10. Fabricação de equipamentos para torrefação;
11. Indústria de embalagens e artefatos de papel;
12. Gráfica de grande porte.

Como é possível observar na FIGURA 12, alguns pontos críticos e indústrias contam com mais de uma edificação. Assim sendo, considerou-se o conjunto das edificações como um aglomerado.

4.2. COLETA DE DADOS DE CAMPO

Realizou-se as medições dos níveis de pressão sonora e a contagem do fluxo de veículos de segunda a sexta-feira, das 13:30 às 14:30 e 17:00 às 18:00, horários de aula nas escolas, de grande fluxo de veículos e produção fabril.

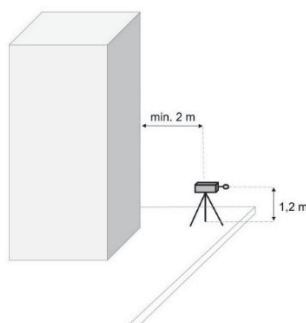
Segundo a NBR 10151/2019, o tempo de medição deverá ser determinado de modo a permitir a caracterização sonora do objeto de medição, incluindo as alterações sonoras no decorrer do procedimento e no ambiente avaliado. Zannin et al. (2013) encontraram uma diferença máxima de 2 dB(A) para diferentes tempos de medição, 3, 5 e 60 min, do nível de pressão sonora equivalente. Essa diferença deve-se às pequenas oscilações do ruído de trânsito para as vias de maior fluxo de veículos, que se aproximam de um ruído contínuo estacionário. Assim sendo, o tempo medido no presente estudo foi de 15 minutos, em dias com condições climáticas favoráveis, sem a presença de ventos ou chuva.

A contagem dos veículos foi realizada por dois operadores posicionados em locais estratégicos para a contagem, e consistiu em identificar a classe dos veículos, sendo classificados como pesado os ônibus e caminhões, veículos leves os carros, caminhonetes e motocicletas, conforme preconiza a RLS-90.

Para realizar as medições do nível de pressão equivalente, seguiu-se os procedimentos descritos na NBR 10.151/2019. Utilizou-se os analisadores de nível

pressão sonora BK 2237 e BK 2238, devidamente calibrados pelo calibrador BK 4231. A FIGURA 13 ilustra o esquema de medição seguido:

FIGURA 13 – ESQUEMA DE MEDIÇÃO DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA



FONTE: A autora (2019).

Realizaram-se 21 medições de nível de pressão sonora, em diferentes pontos da região estudada. Os pontos distam entre si de, no mínimo, 200 m, a fim de cobrir toda a área analisada.

A TABELA 4 apresenta os pontos de medição por classificação de zoneamento, segundo a Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002:

TABELA 4 - PONTOS DE MEDIÇÃO POR ZONEAMENTO

PONTO DE MEDIÇÃO	ZONEAMENTO
AV DAS INDUSTRIAS – 1	ZI
AV DAS INDUSTRIAS – 2	CONEC-2
AV DAS INDUSTRIAS – 3	ZS - 1
AV DAS INDUSTRIAS – 4	ZS - 1
GENERAL POTIGUARA – 1	ZR - 3
GENERAL POTIGUARA – 2	ZI
GENERAL POTIGUARA – 3	CONEC-2
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 1	CONEC-2
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 2	CONEC-2
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 3	CONEC-2
OSMAR ROSA – 1	ZUM
PEDRO GUSSO – 1	SE - OI
PEDRO GUSSO – 2	ZR - 3
PEDRO GUSSO – 3	ZR - 3
PEDRO GUSSO – 4	ZR - 3
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER – 1	CONEC-2
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER – 2	CONEC-2
SENADOR ACCIOLY FILHO – 1	ZS - 1
SENADOR ACCIOLY FILHO – 2	ZUM
SENADOR ACCIOLY FILHO – 3	ZUM
SENADOR ACCIOLY FILHO – 4	ZUM

FONTE: A autora (2019).

Através de contato direto com as empresas, foi levantado qual é a maior fonte de ruído dentro de cada unidade fabril. Sendo assim, foi possível selecionar uma fonte correspondente dentre as opções da biblioteca que o *software* SoundPlan versão 8.0 oferece, que serão apresentadas no QUADRO 6.

4.3. ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE RUÍDO

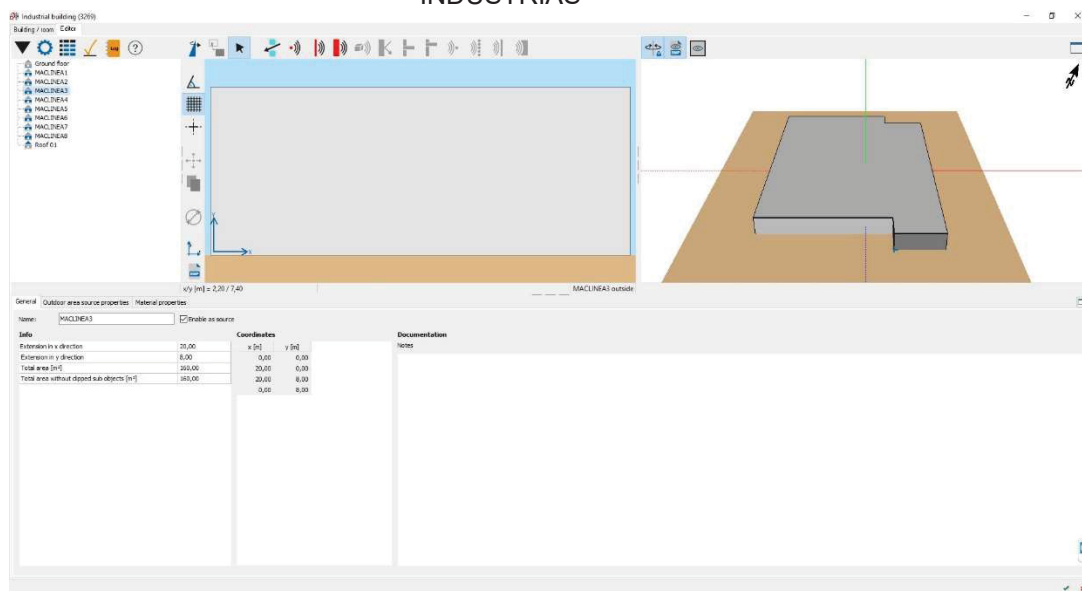
Para uma completa análise, diagnósticos precisos e a elaboração dos mapas de ruído, o Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) adquiriu o *software* SoundPlan versão 8.0. Pelo ruído industrial integrar parte do presente estudo, utilizou-se o módulo *Industrial Noise*.

As principais etapas para a confecção dos mapas de ruído foram:

- a) Definição dos modelos de cálculo a serem utilizados: Adotou-se a RLS-90 para o cálculo do ruído rodoviário e aplicação de barreiras acústicas; e a ISO 9613-2:1996 para o cálculo do ruído industrial.
- b) Definição da área de estudo: Obteve-se as coordenadas georeferenciadas através do *software* Google Earth;
- c) Inserção de dados da superfície: Inseriu-se no *software* as informações topográficas do terreno, como altimetria;
- d) Inserção de vias: Importou-se do *software* Google Maps as seguintes informações das vias - gradiente de inclinação, largura e comprimento da via, sentido de circulação e tipo de via (simples ou dupla).
- e) Inserção de edificações: Manualmente desenhou-se as edificações como casas, prédios de 4 andares, indústrias, escolas e hospitais, baseando-se nas imagens de satélite disponíveis no *software* Google Earth. Considerou-se a altura das mesmas como sendo, 2, 8, 6 ou 10, 10 e 6 m respectivamente.
- f) Cálculo do *Digital Ground Model* (DGM), ou Modelo Digital do Terreno: Simulou-se a superfície do terreno, baseado nas informações inseridas anteriormente.
- g) Inserção das informações referentes às indústrias: Para as edificações fabris, decidiu-se por tratá-las como fontes sonoras; isto significa que cada

face externa da indústria é uma fonte em área. A FIGURA 14 ilustra a interface de inserção de dados das unidades fabris:

FIGURA 14 – INTERFACE SOUNDPLAN 8.0: INSERÇÃO DE DADOS DE ENTRADA DAS INDÚSTRIAS



FONTE: A autora (2019).

Também nessa etapa, considerou-se os valores de emissão das indústrias, de acordo com a biblioteca do *software* SoundPlan 8.0. O QUADRO 6 apresenta os valores considerados:

QUADRO 6 – BIBLIOTECA DO SOUNDPLAN 8.0: VALORES DE L_w

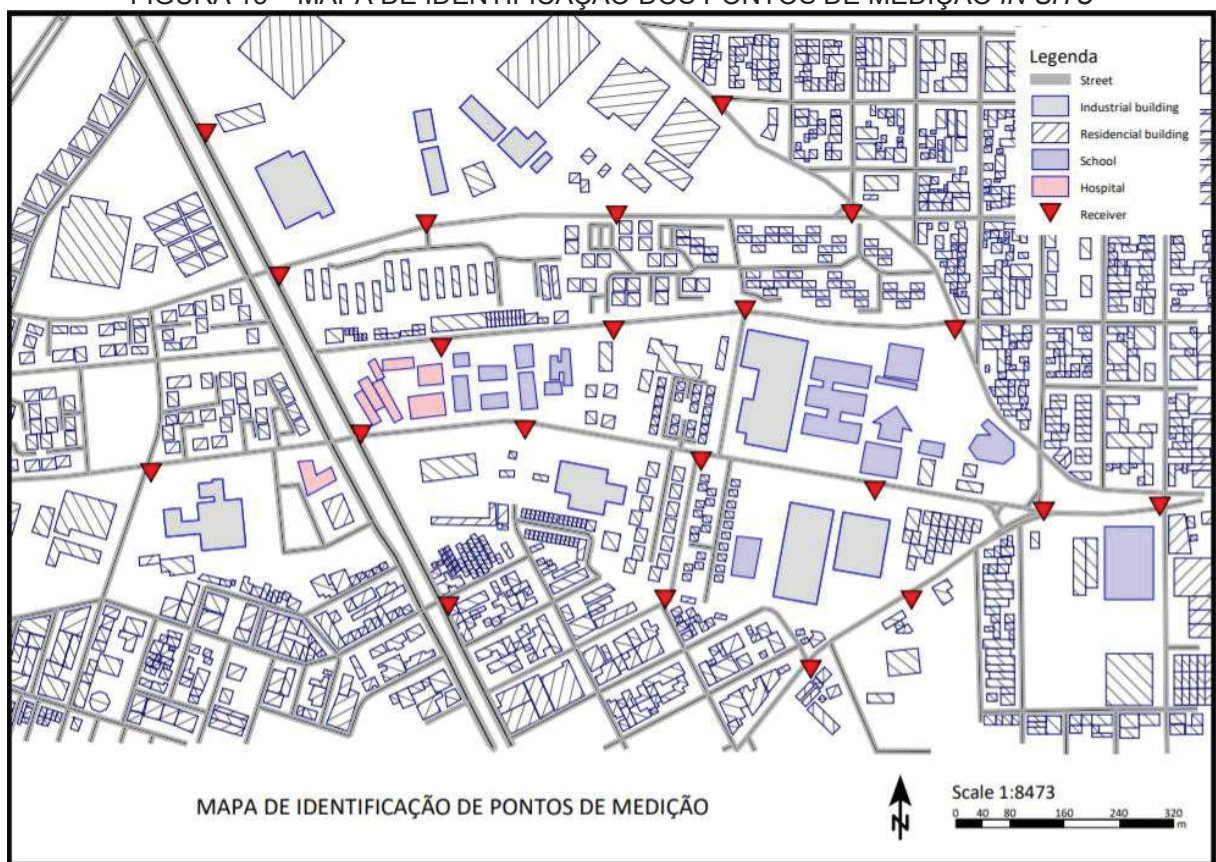
INDÚSTRIA	EQUIPAMENTO	L_w
Indústria de usinagem	Prensa mecânica	91,0
Barracão de estoque da gráfica de grande porte	Empilhadeira	94,3
Fabricação de equipamentos para torrefação	Atividades metalúrgicas	94,5
Fabricação de equipamentos para fabricação de produtos em madeira	Atividades metalúrgicas	94,5
Indústria de eletrodomésticos	Extrusora de plástico	95,6
Indústria de embalagens e artefatos de papel	Impressora rotativa	98,8
Gráfica de grande porte	Impressora rotativa	98,8

*Todas as unidades em dB.

FONTE: A autora (2019).

- h) Inserção das informações referentes ao tráfego rodoviário: Inseriu-se as quantidades de veículos leves, veículos pesados e velocidades consideradas;
- i) Distribuição dos receptores de calibração: Inseriu-se manualmente os receptores a serem utilizados para a calibração do modelo de cálculo. Foram locados 21 receptores nos mesmos locais onde foram realizadas as medições *in situ*. A FIGURA 15 mostra os locais onde realizou-se as medições *in situ*:

FIGURA 15 – MAPA DE IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO *IN SITU*



FONTE: A autora (2019).

- j) Malha de cálculo: Determinou-se a malha de cálculo de 5 x 5 m, a 4 m de altura. Apesar da dimensão da zona de estudo possuir 1,76 km², optou-se pelos referidos valores de malha para validar os mapas de ruído de maneira mais confiável possível;
- k) Início das simulações: O *software* SoundPlan 8.0 conta com vários tipos de cálculos. Iniciou-se a etapa de simulação com o cálculo do *Single*

Points, que simula os níveis de pressão sonora apenas nos receptores inseridos. Em seguida, comparou-se os valores simulados com os medidos *in situ* para uma validação; porém essa etapa será exposta de melhor forma no item 4.4.

Uma vez validado os pontos receptores, iniciou-se o cálculo do *Grid Noise Map*, que nada mais é que o mapa de ruído de toda a área. Nessa etapa, calculou-se o mapa dos ruídos industrial e rodoviário combinados.

4.4. VALIDAÇÃO DOS MAPAS DE RUÍDO

Para a validação do uso dos mapas acústicos, considerou-se o mapa de cálculo como válido caso a diferença entre os valores medidos *in situ* e os valores dos receptores simulados não ultrapasse ± 2 dB(A). Além disso, realizou-se a criação da curva de calibração, que é uma regressão linear entre os valores medidos e simulados, e avaliou-se o valor do Coeficiente de correlação de Pearson quadrado – R^2 e estudou-se os valores do resíduo, para verificar se existiu algum valor superior ao limite ± 2 dB(A), conforme o estabelecido por Guedes e Leite (2011) para a Agência Portuguesa do Ambiente.

4.5. ESTIMATIVA DE CRESCIMENTO DE FROTA DE VEÍCULOS

Objetivando prever o crescimento da frota de veículo e seus efeitos na região de estudo, simulou-se os mapas de ruído para os próximos 30 anos, isto é: 2024, 2029, 2034, 2039, 2044 e 2049. A abordagem consistiu em estipular o tráfego veicular, considerando um modelo linear e baseado neste modelo, realizou-se a extrapolação da frota veicular.

Segundo Montgomery (2013), a análise de regressão fornece uma equação que descreve a relação estatística entre uma ou mais variáveis preditoras e a variável resposta, conforme a Eq. (25):

$$y = \beta_0 + \beta_1 \times x + \varepsilon \quad (25)$$

Sendo,

y = variável resposta ou dependente;

β_0 = constante que representa a interceptação da reta com o eixo vertical;

β_1 = inclinação (coeficiente angular) em relação à variável explicativa;

x = variável preditora ou independente;

ε = fatores residuais.

Através do método dos mínimos quadrados, encontra-se a combinação linear do β que minimiza a soma de quadrados dos resíduos. Por fim, é traçada uma linha que melhor representa as variáveis de entrada com a variável de saída.

O modelo linear teve como base os dados do aumento da frota veicular na cidade de Curitiba. Estes dados foram coletados do Departamento Nacional de Trânsito (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2019) com base no período retroativo de 10 anos, ou seja, entre 2009 e 2019. Por meio do *software* Excel gerou-se o modelo linear por meio do método da regressão linear aplicando o método dos mínimos quadrados. E do modelo linear, extrapolou-se o horizonte de precisão dos modelos para os anos 2024, 2029, 2034, 2039, 2044 e 2049.

Como entrada de dados para o fluxo veicular nas vias da região de estudo, adotou-se a proporção da contagem dos veículos, e com a quantidade de veículos calculou-se o respectivo aumento da frota com o passar do tempo, considerando o modelo linear. Por fim, gerou-se os mapas de ruídos dos anos analisados.

4.6. PROPOSTA DE SOLUÇÕES MITIGADORAS

Com a constatação da manifestação da poluição sonora, propôs-se as seguintes soluções mitigadoras: a) Redução de 90% da frota de veículos pesados; b) Redução de 25% da frota total de veículos; c) Aplicação de barreiras acústicas para refletirem e ou absorverem o som gerado pelas fontes emissoras, e assim diminuïrem o nível sonoro que chega nos pontos de recepção, no caso as zonas sensíveis.

Para a diminuição da frota de veículos, foi-se aplicado uma redução percentual para cada um dos casos propostos. Em seguida, inseriu-se os novos valores no *software* SoundPlan 8.0 e gerou-se os resultados e mapas de ruído.

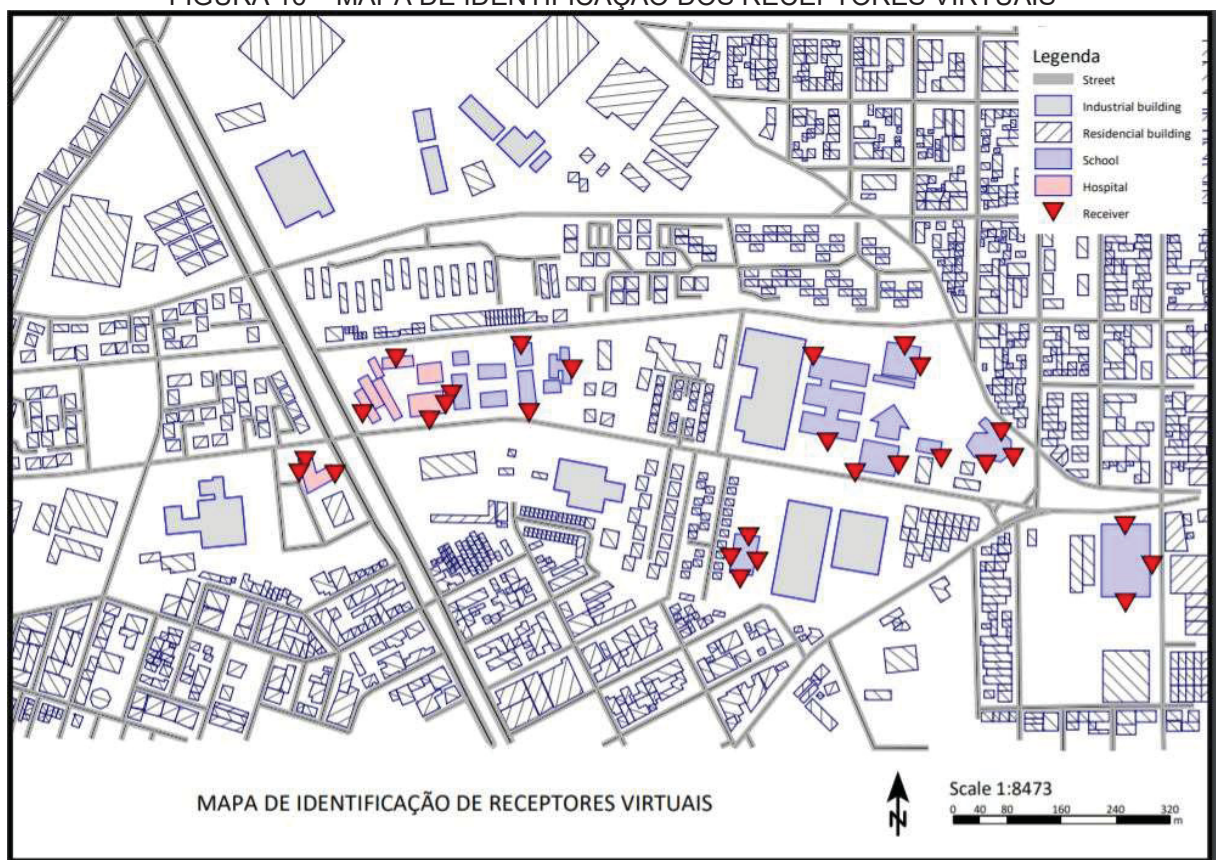
Adotou-se pela implantação das barreiras em torno das edificações identificadas como zonas sensíveis.

O *software* SoundPlan 8.0 possui um módulo exclusivo para a modelagem de barreiras acústicas, chamado *Wall Design*, que otimiza o cálculo das alturas das barreiras através de interações.

Em seguida são apresentadas as principais etapas para a confecção das barreiras acústicas:

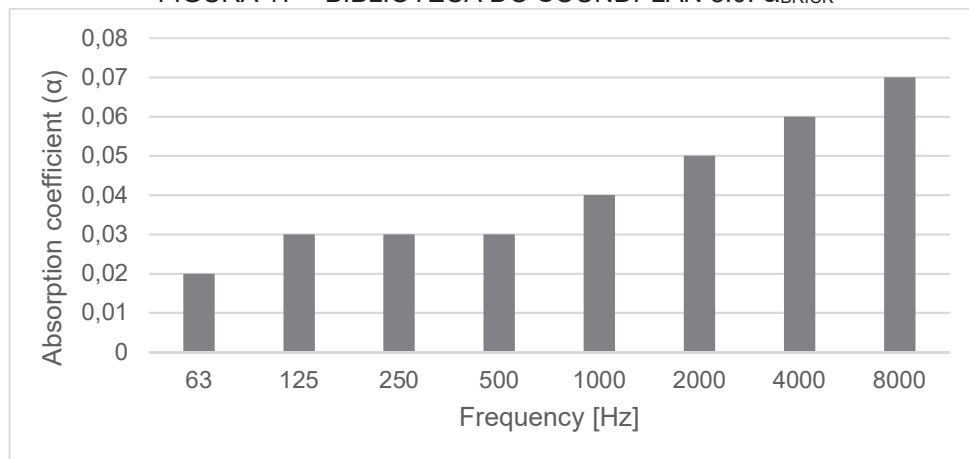
- a) Desenhou-se as barreiras no mapa;
- b) Inseriu-se os receptores posicionados conforme preconiza a NBR 10151/2019, a 2 m das superfícies refletoras e 1,2 m de distância do solo. Esses receptores são necessários para que o *software* calcule as reduções decorrentes da implementação de cada incremento de barreira. A FIGURA 16 mostra os locais onde inseriu-se os receptores:

FIGURA 16 – MAPA DE IDENTIFICAÇÃO DOS RECEPTORES VIRTUAIS



FONTE: A autora (2019).

- c) Inseriu-se o espectro de absorção sonora do bloco cerâmico, importado da biblioteca do próprio *software*. A FIGURA 17 demonstra os valores em banda de oitava entre 63 Hz e 8 kHz:

FIGURA 17 – BIBLIOTECA DO SOUNDPLAN 8.0: α_{BRICK} 

FONTE: Adaptado do *software* SoundPlan 8.0 (2019).

- d) Altura máxima da barreira: 10 m;
- e) Número máximo de elementos que serão incrementados a cada interação:
20 elementos de 50 cm cada;
- f) Objetivo da redução: Reduzir o nível de ruído ao limite de 55 dB(A) em todos os pontos sensíveis.

Em seguida, o *software* realiza um pré-cálculo para cada elemento incrementado até atingir o objetivo da redução.

5. RESULTADOS

Os resultados estão estruturados em quatro seções. Na seção 5.1 expõe-se os resultados das medições *in situ*. Após, na seção 5.2, são apresentados os valores da calibração do modelo de cálculo para validação dos mapas de ruído. Na seção 5.3 são apresentados os valores resultantes do cenário atual. Por fim, na seção 5.4 tem-se os resultados das simulações dos cenários propostos.

5.1. MEDIÇÕES *IN SITU*

5.1.1. Nível de pressão sonora equivalente – L_{eq}

A TABELA 5 mostra os pontos de medições e os seus respectivos níveis de pressão sonora equivalentes de ruído medidos, com a variação mínima e máxima em cada um destes pontos de medição.

TABELA 5 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE NOS PONTOS DE MEDIÇÃO

RECEPTOR	L_{eq}	$L_A[Max]$	$L_A[Min]$
AV DAS INDÚSTRIAS – 1	69,1	82,0	45,1
AV DAS INDÚSTRIAS – 2	72,7	92,1	53,0
AV DAS INDÚSTRIAS – 3	71,6	89,6	43,9
AV DAS INDÚSTRIAS – 4	69,4	87,1	43,1
GENERAL POTIGUARA – 1	67,9	82,7	42,5
GENERAL POTIGUARA – 2	72,3	86,7	50,4
GENERAL POTIGUARA – 3	72,5	81,5	44,5
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 1	66,5	85,9	45,9
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 2	66,1	84,1	41,9
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 3	67,9	86,6	47,8
OSMAR ROSA – 1	60,8	82,2	40,4
PEDRO GUSSO – 1	74,1	84,6	43,9
PEDRO GUSSO – 2	74,1	87,9	53,9
PEDRO GUSSO – 3	77,9	88,3	49,3
PEDRO GUSSO – 4	77,6	96,2	49,2
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER – 1	72,6	98,5	44,8
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER – 2	70,7	91,4	44,9
SENADOR ACCIOLY FILHO – 1	68,8	87,7	47,7
SENADOR ACCIOLY FILHO – 2	68,9	87,2	43,7
SENADOR ACCIOLY FILHO – 3	70,6	83,2	45,6
SENADOR ACCIOLY FILHO – 4	70,4	86,8	45,3

*todos os valores estão em dB(A)

FONTE: A autora (2019).

Conforme a TABELA 5, verificou-se a maior amplitude entre os níveis de máximo e mínimo de cerca de 47 dB(A) para o ponto Pedro Gusso 4. Isso se dá pela variação do fluxo de veículos durante o período de medição.

A TABELA 6 compara os valores das medições *in situ* com os limites permitidos pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002:

TABELA 6 - COMPARAÇÃO DO LIMITES PERMITIDOS POR LEI E VALORES MEDIDOS *IN SITU*

RECEPTOR	LIMITE	L _{eq}	VALOR ACIMA DO PERMITIDO
AV DAS INDUSTRIAS - 1	70	69,1	-
AV DAS INDUSTRIAS - 2	65	72,7	7,7
AV DAS INDUSTRIAS - 3	65	71,6	6,6
AV DAS INDUSTRIAS - 4	70	69,4	-
GENERAL POTIGUARA - 1	55	67,9	12,9
GENERAL POTIGUARA - 2	70	72,3	2,3
GENERAL POTIGUARA - 3	65	72,5	7,5
NOSSA SENHORA DA CABEÇA - 1	65	66,5	1,5
NOSSA SENHORA DA CABEÇA - 2	65	66,1	1,1
NOSSA SENHORA DA CABEÇA - 3	65	67,9	2,9
OSMAR ROSA - 1	65	60,8	-
PEDRO GUSSO - 1	60	74,1	14,1
PEDRO GUSSO - 2	55	74,1	19,1
PEDRO GUSSO - 3	55	77,9	22,9
PEDRO GUSSO - 4	55	77,6	22,6
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER - 1	65	72,6	7,6
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER - 2	65	70,7	5,7
SENADOR ACCIOLY FILHO - 1	70	68,8	-
SENADOR ACCIOLY FILHO - 2	65	68,9	3,9
SENADOR ACCIOLY FILHO - 3	65	70,6	5,6
SENADOR ACCIOLY FILHO - 4	65	70,4	5,4

*Todas as unidades em dB(A).

FONTE: A autora (2019).

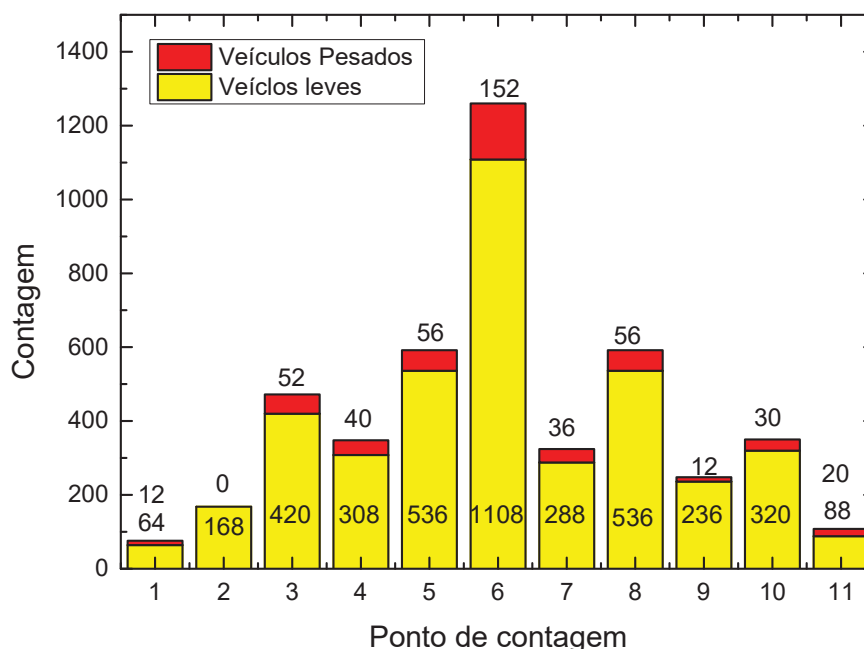
Como é possível observar na TABELA 6, o ponto Pedro Gusso 3 apresenta a maior diferença entre o limite permitido por lei e o valor medido *in situ*, da ordem de 22,9 dB(A).

5.1.2. Contagem de veículos

Para a elaboração dos mapas de ruído foi necessário a realização da contagem do tráfego veicular na região de estudo nas vias principais. Adicionalmente, conforme mostra FIGURA 18, realizou-se a sua respectiva estratificação deste

tráfego, frente as classes de veículos leves (carros, caminhonetes e motocicletas) e veículos pesados (ônibus e caminhões).

FIGURA 18 – CONTAGEM DE VEÍCULOS NO PONTOS DE MEDIÇÃO



FONTE: A autora (2019).

Os resultados apresentados na FIGURA 18 são consolidados para a TABELA 7, em termos do percentual da respectiva composição entre veículos leves e pesados, objetivando estimar o valor do fluxo rodoviário em períodos futuros.

TABELA 7 - CONTAGEM E ESTRATIFICAÇÃO DO FLUXO VEICULAR

RUA	VEÍCULOS				FROTA TOTAL	
	LEVES		PESADOS			
JOSÉ ALCIDES DE LIMA	64	84%	12	16%	76	100%
OSMAR ROSA	168	100%	0	0%	168	100%
AV DAS INDÚSTRIAS (SENTIDO 1)	420	89%	52	11%	472	100%
AV DAS INDÚSTRIAS (SENTIDO 2)	308	89%	40	11%	348	100%
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER	536	91%	56	9%	592	100%
PEDRO GUSSO	1108	88%	152	12%	1260	100%
SENADOR ACCIOLY FILHO	288	89%	36	11%	324	100%
NOSSA SENHORA DA CABEÇA	236	95%	12	5%	248	100%
GENERAL POTIGUARA	320	91%	30	9%	350	100%
ELYSIO SIMÕES	88	81%	20	19%	108	100%

FONTE: A autora (2019).

Ao realizar uma inspeção na TABELA 7, verifica-se que nas ruas selecionadas para as medições existe considerável variação do fluxo veicular. Isto implica que em

ruas mais movimentadas e com fluxo de velocidade maior dever-se-á manifestar as medições com os maiores níveis de ruído equivalente.

5.2. CALIBRAÇÃO DO MODELO DE CÁLCULO

De posse dos resultados das medições *in situ* e dos dados da estratificação do fluxo veicular, ver seções 5.1 e 5.21, procedeu-se com as simulações dos receptores virtuais. De tal forma, comparou-se os valores, calibrando assim o modelo de cálculo. Para atingir um dos objetivos do trabalho que é realizar a avaliação combinada dos efeitos do ruído rodoviário e do ruído industrial, criou-se três cenários no *software* SoundPlan 8.0, conforme explicitado previamente na metodologia. Estes cenários foram a condição atual, cujos ruídos industrial e rodoviário estão combinados, ver TABELA 8, e a condição do ruído rodoviário e ruído industrial individualmente, ver TABELA 9.

TABELA 8 - DIFERENÇA ENTRE MEDIÇÃO IN SITU E NÍVEL DE RUÍDO SIMULADOS: CONDIÇÃO ATUAL

RECEPTOR – CONDIÇÃO ATUAL	L_{Aeq} IN SITU	L_d SIMULAÇÃO	DIFERENÇA
AV DAS INDÚSTRIAS – 1	69,1	69,4	0,3
AV DAS INDÚSTRIAS – 2	72,7	73,9	1,2
AV DAS INDÚSTRIAS – 3	71,6	72,7	1,1
AV DAS INDÚSTRIAS – 4	69,4	69,5	0,1
GENERAL POTIGUARA – 1	67,9	70,4	2,5
GENERAL POTIGUARA – 2	72,3	73,2	0,9
GENERAL POTIGUARA – 3	72,5	71,4	-1,1
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 1	66,5	65,8	-0,7
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 2	66,1	67,7	1,6
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 3	67,9	67,3	-0,6
OSMAR ROSA – 1	60,8	62,7	1,9
PEDRO GUSSO – 1	74,1	75,2	1,1
PEDRO GUSSO – 2	74,1	76,0	1,9
PEDRO GUSSO – 3	77,9	77,7	-0,2
PEDRO GUSSO – 4	77,6	75,8	-1,8
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER – 1	72,6	70,6	-2,0
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER – 2	70,7	72,5	1,8
SENADOR ACCIOLY FILHO – 1	68,8	70,2	1,4
SENADOR ACCIOLY FILHO – 2	68,9	70,0	1,1
SENADOR ACCIOLY FILHO – 3	70,6	70,5	-0,1
SENADOR ACCIOLY FILHO – 4	70,4	70,2	-0,2

*Todas as unidades em dB(A).

FONTE: A autora (2019).

A condição atual engloba os efeitos combinados pela superposição do ruído rodoviário e pela configuração das simulações considerando ativas as imissões do ruído nas indústrias modeladas.

Validada a simulação do cenário atual, uma vez que a diferença dos valores da medição *in situ* e da simulação estão dentro da tolerância adotada, obteve-se os valores dos níveis de ruído para o ruído exclusivamente rodoviário, bem como para o ruído exclusivamente industrial. A TABELA 9 mostra esses valores e a composição deles na simulação.

TABELA 9 - COMPOSIÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO: CONDIÇÃO ATUAL

RECEPTOR -	L _d		
	RODOVIÁRIO	INDUSTRIAL	COMPOSIÇÃO
AV DAS INDÚSTRIAS – 1	69,4	42,9	69,4
AV DAS INDÚSTRIAS – 2	73,9	47,6	73,9
AV DAS INDÚSTRIAS – 3	72,7	41,6	72,7
AV DAS INDÚSTRIAS – 4	69,5	42,9	69,5
GENERAL POTIGUARA – 1	70,4	37,3	70,4
GENERAL POTIGUARA – 2	73,2	34,5	73,2
GENERAL POTIGUARA – 3	71,4	38,6	71,4
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 1	65,8	37,3	65,8
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 2	67,7	43,9	67,7
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 3	67,1	54,8	67,3
OSMAR ROSA – 1	62,6	40,3	62,7
PEDRO GUSSO – 1	75,2	45,3	75,2
PEDRO GUSSO – 2	76,0	46,4	76,0
PEDRO GUSSO – 3	77,7	40,0	77,7
PEDRO GUSSO – 4	75,8	33,8	75,8
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER – 1	70,6	50,7	70,6
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER – 2	72,5	44,0	72,5
SENADOR ACCIOLY FILHO – 1	70,1	47,8	70,2
SENADOR ACCIOLY FILHO – 2	70,0	48,9	70,0
SENADOR ACCIOLY FILHO – 3	70,3	55,7	70,5
SENADOR ACCIOLY FILHO – 4	70,2	51,9	70,2

*Todas as unidades em dB(A).

FONTE: A autora (2019).

Com isto, têm-se os valores de referência aplicados para realizar a calibração do modelo.

A TABELA 10 apresenta uma comparação dos limites permitidos pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002 e os níveis de ruído industrial e rodoviário, isolados, calculados na simulação:

TABELA 10 - COMPARAÇÃO DOS LIMITES PERMITIDOS POR LEI E NÍVEIS DE RUÍDO INDUSTRIAL E RODOVIÁRIO, ISOLADOS

RECEPTOR	LIM.	L _d ROD.	LIM. - L _d (R)	L _d IND.	LIM. - L _d (I)
AV DAS INDUSTRIAS - 1	70	69,4	-	42,9	
AV DAS INDUSTRIAS - 2	65	73,9	8,9	47,6	
AV DAS INDUSTRIAS - 3	65	72,7	7,7	41,6	
AV DAS INDUSTRIAS - 4	70	69,5	-	42,9	
GENERAL POTIGUARA - 1	55	70,4	15,4	37,3	
GENERAL POTIGUARA - 2	70	73,2	3,2	34,5	
GENERAL POTIGUARA - 3	65	71,4	6,4	38,6	
NOSSA SENHORA DA CABEÇA - 1	65	65,8	0,8	37,3	
NOSSA SENHORA DA CABEÇA - 2	65	67,7	2,7	43,9	
NOSSA SENHORA DA CABEÇA - 3	65	67,1	2,1	54,8	
OSMAR ROSA - 1	65	62,6	-	40,3	-
PEDRO GUSSO - 1	60	75,2	15,2	45,3	
PEDRO GUSSO - 2	55	76,0	21,0	46,4	
PEDRO GUSSO - 3	55	77,7	22,7	40,0	
PEDRO GUSSO - 4	55	75,8	20,8	33,8	
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER - 1	65	70,6	5,6	50,7	
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER - 2	65	72,5	7,5	44,0	
SENADOR ACCIOLY FILHO - 1	70	70,1	0,1	47,8	
SENADOR ACCIOLY FILHO - 2	65	70,0	5,0	48,9	
SENADOR ACCIOLY FILHO - 3	65	70,3	5,3	55,7	
SENADOR ACCIOLY FILHO - 4	65	70,2	5,2	51,9	

*Todas as unidades em dB(A).

FONTE: A autora (2019).

Como é possível observar na TABELA 10, o ponto Pedro Gusso 3 apresenta a maior diferença entre o limite permitido por lei e o nível de ruído rodoviário, da ordem de 22,7 dB(A). Nenhum dos níveis de ruído industrial, quando avaliado individualmente, estão acima do permitido por lei.

A TABELA 11 apresenta a comparação dos limites permitidos pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002 e os níveis de ruído industrial e rodoviário, combinados, calculados na simulação:

TABELA 11 - COMPARAÇÃO DOS LIMITES PERMITIDOS POR LEI E NÍVEIS DE RUÍDO INDUSTRIAL E RODOVIÁRIO, COMBINADOS

RECEPTOR	L_d COMBINAÇÃO	LIM. – $L_d(R+I)$
AV DAS INDUSTRIAS – 1	69,4	-
AV DAS INDUSTRIAS – 2	73,9	8,9
AV DAS INDUSTRIAS – 3	72,7	7,7
AV DAS INDUSTRIAS – 4	69,5	-
GENERAL POTIGUARA – 1	70,4	15,4
GENERAL POTIGUARA – 2	73,2	3,2
GENERAL POTIGUARA – 3	71,4	6,4
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 1	65,8	0,8
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 2	67,7	2,7
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 3	67,3	2,3
OSMAR ROSA – 1	62,7	-
PEDRO GUSSO – 1	75,2	15,2
PEDRO GUSSO – 2	76,0	21,0
PEDRO GUSSO – 3	77,7	22,7
PEDRO GUSSO – 4	75,8	20,8
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER – 1	70,6	5,6
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER – 2	72,5	7,5
SENADOR ACCIOLY FILHO – 1	70,2	0,2
SENADOR ACCIOLY FILHO – 2	70,0	5,0
SENADOR ACCIOLY FILHO – 3	70,5	5,5
SENADOR ACCIOLY FILHO – 4	70,2	5,2

*Todas as unidades em dB(A).

FONTE: A autora (2019).

Assim como na TABELA 10, o ponto Pedro Gusso 3 da TABELA 11 apresenta a maior diferença entre o limite permitido por lei e o nível de ruído, da ordem de 22,7 dB(A).

5.3. SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS PROPOSTOS

Após realização do mapeamento de ruído da região de estudo, e com a sua respectiva validação frente a condição atual, tem-se a possibilidade da geração de cenários futuros, considerando-se modificações na região de estudo para verificar os possíveis efeitos sobre a paisagem acústica. Neste contexto, três estudos foram avaliados, considerando-se as seguintes condições:

- Estimativa de crescimento da frota de veículos;
- Reduções das frotas de veículos;
- Implementação das barreiras acústicas.

Para cada uma destas condições avaliou-se os efeitos destas sobre os níveis de ruído, ao mesmo tempo, estudou-se e projetou-se o efeito da aplicação de ações mitigadoras, objetivando melhorar a qualidade acústica ambiental.

5.3.1. Estimativa de crescimento da frota de veículos

A estimativa da frota de veículos seguiu os procedimentos previamente descritos na seção 4.5. Dessa forma, na TABELA 12 mostra-se os dados da evolução da frota de veículos e os resultados da respectiva extrapolação linear aplicada.

TABELA 12 - EVOLUÇÃO DA FROTA DE VEÍCULOS ENTRE 2009 E 2019

ANO	FROTA	TAXA DE CRESCIMENTO
2009	1.141.153,00	--
2010	1.197.436,00	4,93%
2011	1.255.646,00	4,86%
2012	1.319.234,00	5,06%
2013	1.378.217,00	4,47%
2014	1.436.341,00	4,22%
2015	1.498.036,00	4,30%
2016	1.514.068,00	1,07%
2017	1.517.271,00	0,21%
2018	1.526.874,00	0,63%
2019	1.554.267,00	1,79%

FONTE: MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA (2009 a 2019).

A equação linear para a extrapolação com base nos dados da TABELA 12 foi:

$$y = 42524t - 8,424 \times 10^7 \quad (25)$$

Sendo,

y = frota veicular;

t = tempo, em anos.

Para limites de 95% de confiança, os erros nos parâmetros são $42524 \pm 3787,49$ e $-8,424 \times 10^7 \pm 7,62802 \times 10^6$. O valor de R^2 de 0,9661 mostra que os resultados tiveram boa concordância para o ajuste linear, podendo de tal modo, afirmar que, o ajuste linear foi um modelo que se ajustou satisfatoriamente aos dados. Os resultados da extrapolação são mostrados na

TABELA 13, junto a taxa de crescimento referente ao ano base de 2019.

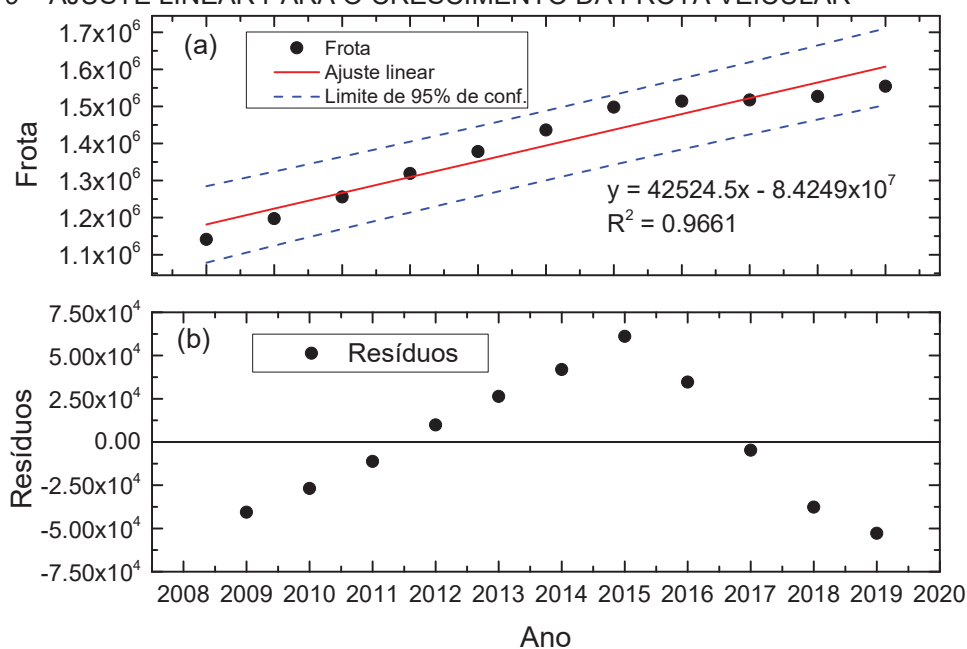
TABELA 13 - RESULTADOS DA EXTRAPOLAÇÃO LINEAR PARA CONDIÇÕES FUTURAS

ANO	NÚMERO DE VEÍCULOS	TAXA DE CRESCIMENTO
2019	1.554.267	-
2024	1.819.657	17%
2029	2.032.279	31%
2034	2.244.901	44%
2039	2.457.523	58%
2044	2.670.145	72%
2049	2.882.767	85%

FONTE: A autora (2019).

A FIGURA 19 mostra o ajuste linear aplicado aos dados da TABELA 13 com seus respectivos limites de 95% de confiança. Observa-se na FIGURA 19(b) a distribuição dos resíduos deste ajuste linear, que por sua vez, estão dentro dos limites de 95% de confiança da estimativa.

FIGURA 19 – AJUSTE LINEAR PARA O CRESCIMENTO DA FROTA VEICULAR



FONTE: A autora (2019).

Com os resultados da extrapolação, gerou-se os dados de entrada para a configuração no *software* SoundPlan 8.0 com o objetivo de modelar os novos mapas de ruído na região. Estes dados são mostrados na TABELA 14, TABELA 15 e na TABELA 16. Nestes resultados, considera-se a proporção do fluxo veicular, conforme os dados da

TABELA 13. Com isto, mantém-se constante a proporção de crescimento da frota com base nos dados observados no ano de 2019.

TABELA 14 - QUANTITATIVO DO FLUXO VEICULAR NOS ANOS DE 2024 E 2029

RUA	ANO 2024		ANO 2029	
	VEÍCULOS		VEÍCULOS	
	LEVES	PESADOS	LEVES	PESADOS
JOSÉ ALCIDES DE LIMA	75	14	84	16
OSMAR ROSA	197	0	220	0
AV DAS INDÚSTRIAS (SENTIDO 1)	492	61	549	68
AV DAS INDÚSTRIAS (SENTIDO 2)	361	47	403	52
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER	1297	178	1449	199
PEDRO GUSO	337	42	377	47
SENADOR ACCIOLY FILHO	628	66	701	73
NOSSA SENHORA DA CABEÇA	375	35	418	39
GENERAL POTIGUARA	103	23	115	26
ELYSIO SIMÕES	75	14	84	16

FONTE: A autora (2019).

A TABELA 15 mostra a quantidade do fluxo de veículos para os anos de 2034 e 2039, respectivamente.

TABELA 15 - QUANTITATIVO DO FLUXO VEICULAR NOS ANOS DE 2034 E 2039

RUA	ANO 2034		ANO 2039	
	VEÍCULOS		VEÍCULOS	
	LEVES	PESADOS	LEVES	PESADOS
JOSÉ ALCIDES DE LIMA	92	17	101	19
OSMAR ROSA	243	0	266	0
AV DAS INDÚSTRIAS (SENTIDO 1)	607	75	664	82
AV DAS INDÚSTRIAS (SENTIDO 2)	445	58	487	63
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER	1600	220	1752	240
PEDRO GUSO	416	52	455	57
SENADOR ACCIOLY FILHO	774	81	847	89
NOSSA SENHORA DA CABEÇA	462	43	506	47
GENERAL POTIGUARA	127	29	139	32
ELYSIO SIMÕES	92	17	101	19

FONTE: A autora (2019).

A TABELA 16 mostra a quantidade do fluxo de veículos para os anos de 2044 e 2049.

TABELA 16 - QUANTITATIVO DO FLUXO VEICULAR NOS ANOS DE 2044 E 2049

RUA	ANO 2044		ANO 2049	
	VEÍCULOS		VEÍCULOS	
	LEVES	PESADOS	LEVES	PESADOS
JOSÉ ALCIDES DE LIMA	110	21	119	22
OSMAR ROSA	289	0	312	0
AV DAS INDÚSTRIAS (SENTIDO 1)	722	89	779	96
AV DAS INDÚSTRIAS (SENTIDO 2)	529	69	571	74
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER	1903	261	2055	282
PEDRO GUSSO	495	62	534	67
SENADOR ACCIOLY FILHO	921	96	994	104
NOSSA SENHORA DA CABEÇA	550	52	594	56
GENERAL POTIGUARA	151	34	163	37
ELYSIO SIMÕES	110	21	119	22

FONTE: A autora (2019).

Com isto, na TABELA 17 contém os valores nominais dos níveis de ruído simulados para os anos 2024, 2029, 2034, 2039, 2044 e 2049.

TABELA 17 - NÍVEIS DE RUÍDO PARA OS PRÓXIMOS 30 ANOS

RECEIVER	2024	2029	2034	2039	2044	2049
AV DAS INDÚSTRIAS – 1	70,1	70,6	71,1	71,4	71,8	72,1
AV DAS INDÚSTRIAS – 2	74,6	75,0	75,5	75,9	76,2	76,6
AV DAS INDÚSTRIAS – 3	73,3	73,8	74,3	74,7	75,0	75,3
AV DAS INDÚSTRIAS – 4	70,2	70,7	71,2	71,5	71,9	72,2
GENERAL POTIGUARA – 1	71,1	71,5	72,0	72,4	72,8	73,1
GENERAL POTIGUARA – 2	73,9	74,4	74,8	75,2	75,6	75,9
GENERAL POTIGUARA – 3	72,1	72,6	73,0	73,4	73,8	74,1
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 1	66,5	67,0	67,4	67,8	68,2	68,5
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 2	68,4	68,9	69,3	69,7	70,1	70,4
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 3	67,9	68,4	68,8	69,2	69,6	69,9
OSMAR ROSA – 1	63,3	63,8	64,3	64,6	65,0	65,3
PEDRO GUSSO – 1	75,9	76,4	76,8	77,2	77,6	77,9
PEDRO GUSSO – 2	76,7	77,2	77,6	78,0	78,4	78,7
PEDRO GUSSO – 3	78,4	78,9	79,3	79,7	80,1	80,4
PEDRO GUSSO – 4	76,5	77,0	77,4	77,8	78,2	78,5
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER - 1	71,3	71,7	72,2	72,6	72,9	73,3
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER - 2	73,2	73,6	74,1	74,5	74,8	75,2
SENADOR ACCIOLY FILHO – 1	70,8	71,3	71,8	72,2	72,5	72,9
SENADOR ACCIOLY FILHO – 2	70,7	71,2	71,6	72,0	72,4	72,7
SENADOR ACCIOLY FILHO – 3	71,1	71,6	72,0	72,4	72,8	73,1
SENADOR ACCIOLY FILHO – 4	70,9	71,4	71,8	72,2	72,5	72,9

*Todas as unidades em dB(A).

FONTE: A autora (2019).

Os resultados indicam um aumento do L_d da ordem de 2,0 dB(A) entre 2024 e 2049.

5.3.2. Redução da frota de veículos

Como proposta de soluções mitigadoras para os elevados níveis de ruído na região preconizou-se a redução do tráfego rodoviário para duas situações: (i) redução de 90% da frota de veículos pesados (V.P) e (ii) redução de 25% da frota total de veículos.

Para a elaboração dessas medidas, aplicou-se a redução percentual dos valores originais apresentados na TABELA 7. Com isto, a TABELA 18 mostra o novo quantitativo de veículos para cada uma das reduções aplicadas.

TABELA 18 - REDUÇÃO DE 90% DA FROTA DE VEÍCULOS PESADOS E 25% DA FROTA TOTAL

RUA	REDUÇÃO 90% V.P.		REDUÇÃO 25% F.T.	
	VEÍCULOS		VEÍCULOS	
	LEVES	PESADOS	LEVES	PESADOS
JOSÉ ALCIDES DE LIMA	64	1,2	48	9
OSMAR ROSA	168	0	126	0
AV DAS INDÚSTRIAS (SENTIDO 1)	420	5,2	315	39
AV DAS INDÚSTRIAS (SENTIDO 2)	308	4	231	30
PEDRO GUSSO	1108	15,2	831	114
SENADOR ACCIOLY FILHO	288	3,6	216	27
PROF ALGACYR MUNHOZ MADER	536	5,6	402	42
NOSSA SENHORA DA CABEÇA	236	1,2	177	9
GENERAL POTIGUARA	320	3	240	22,5
ELYSIO SIMÕES	88	2	66	15

FONTE: A autora (2019).

Como efeito prático dessas reduções de 90% dos veículos pesados e 25% da frota total, a TABELA 19 mostra o nível de ruído em cada rua após a implementação das medidas, ao mesmo tempo, mostra-se o efeito dessa medida. O efeito pode ser compreendido como a diferença do nível de ruído rodoviário para a condição corrente subtraído pelo nível em cada respectivo ponto, após a implementação das soluções mitigadoras.

TABELA 19 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO APÓS REDUÇÕES DA FROTA VEICULAR

RECEIVER	RUÍDO	-90% DE V.P	EFEITO	-25% DA F.T	EFEITO
AV DAS INDÚSTRIAS – 1	69,4	64,9	-4,5	68,2	-1,2
AV DAS INDÚSTRIAS – 2	73,9	69,6	-4,3	72,6	-1,3
AV DAS INDÚSTRIAS – 3	72,7	68,1	-4,6	71,4	-1,3
AV DAS INDÚSTRIAS – 4	69,5	64,9	-4,6	68,3	-1,2
GENERAL POTIGUARA – 1	70,4	66,4	-4,0	69,2	-1,2

(continuação)

RECEIVER	RUÍDO	-90% DE V.P	EFEITO	-25% DA F.T	EFEITO
GENERAL POTIGUARA – 2	73,2	69,1	-4,1	72,0	-1,2
GENERAL POTIGUARA – 3	71,4	67,8	-3,6	70,2	-1,2
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 1	65,8	63,0	-2,8	64,6	-1,2
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 2	67,7	64,9	-2,8	66,5	-1,2
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 3	67,3	64,2	-3,1	66,1	-1,2
OSMAR ROSA – 1	62,7	62,4	-0,3	61,4	-1,3
PEDRO GUSSO – 1	75,2	70,4	-4,8	74,0	-1,2
PEDRO GUSSO – 2	76,0	71,2	-4,8	74,8	-1,2
PEDRO GUSSO – 3	77,7	72,9	-4,8	76,5	-1,2
PEDRO GUSSO – 4	75,8	71,5	-4,3	74,6	-1,2
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER - 1	70,6	66,5	-4,1	69,4	-1,2
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER - 2	72,5	68,3	-4,2	71,2	-1,3
SENADOR ACCIOLY FILHO – 1	70,2	65,7	-4,5	68,9	-1,3
SENADOR ACCIOLY FILHO – 2	70,0	65,6	-4,4	68,8	-1,2
SENADOR ACCIOLY FILHO – 3	70,5	66,9	-3,6	69,3	-1,2
SENADOR ACCIOLY FILHO – 4	70,2	65,8	-4,4	69,0	-1,2

* Todas as unidades em dB(A)

FONTE: A autora (2019).

Numa análise preliminar observa-se que houve a redução do nível de ruído da ordem de 4,8 dB(A).

Ainda assim, como observa-se na TABELA 20, após as reduções da frota veicular poucos pontos analisados alcançaram o limite definido pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002. Reduzida a frota de veículos pesados, 8 pontos se mantiveram abaixo do limite permitido; e quando reduzida a frota total de veículos apenas 5 pontos obtiveram tal desempenho.

TABELA 20 - COMPARAÇÃO DOS LIMITES PERMITIDOS POR LEI E NÍVEIS DE RUÍDO APÓS REDUÇÕES DE FROTAS VEICULAR

PONTOS	LIM.	REDUÇÃO F.T.	LIM. - REDUÇÃO F.T.	REDUÇÃO DE V.P.	LIM. - REDUÇÃO V.P.
AV DAS INDUSTRIAS – 1	70	68,2	-	64,9	-
AV DAS INDUSTRIAS – 2	65	72,6	7,6	69,6	4,6
AV DAS INDUSTRIAS – 3	65	71,4	6,4	68,1	3,1
AV DAS INDUSTRIAS – 4	70	68,3	-	64,9	-
GENERAL POTIGUARA – 1	55	69,2	14,2	66,4	11,4
GENERAL POTIGUARA – 2	70	72,0	2,0	69,1	-
GENERAL POTIGUARA – 3	65	70,2	5,2	67,8	2,8
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 1	65	64,6	-	63,0	-
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 2	65	66,5	1,5	64,9	-

(continuação)

PONTOS	LIM.	REDUÇÃO F.T.	LIM. - REDUÇÃO F.T.	REDUÇÃO DE V.P.	LIM. - REDUÇÃO V.P.
NOSSA SENHORA DA CABEÇA – 3	65	66,1	1,1	64,2	-
OSMAR ROSA – 1	65	61,4	-	62,4	-
PEDRO GUSSO – 1	60	74,0	14,0	70,4	10,4
PEDRO GUSSO – 2	55	74,8	19,8	71,2	16,2
PEDRO GUSSO – 3	55	76,5	21,5	72,9	17,9
PEDRO GUSSO – 4	55	74,6	19,6	71,5	16,5
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER - 1	65	69,4	4,4	66,5	1,5
PROFESSOR ALGACYR MUNHOZ MADER - 2	65	71,2	6,2	68,3	3,3
SENADOR ACCIOLY FILHO – 1	70	68,9	-	65,7	-
SENADOR ACCIOLY FILHO – 2	65	68,8	3,8	65,6	0,6
SENADOR ACCIOLY FILHO – 3	65	69,3	4,3	66,9	1,9
SENADOR ACCIOLY FILHO – 4	65	69,0	4,0	65,8	0,8

* Todas as unidades em dB(A)

FONTE: A autora (2019).

5.3.3. Barreira acústica

Para a proposta da solução mitigadora para o ruído industrial realizou-se a abordagem de projetar barreiras acústicas para atenuar os níveis de ruído equivalente nas fachadas dos estabelecimentos sensíveis.

A FIGURA 20 e a TABELA 21 apresentam os pontos e dimensões das barreiras projetadas para a UBS Campo Alegre:

FIGURA 20 – PONTOS DA BARREIRA ACÚSTICA: UBS CAMPO ALEGRE



FONTE: A autora (2019).

TABELA 21 – DIMENSÕES DA BARREIRA: UBS CAMPO ALEGRE

POSIÇÃO	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m²)
1	41,4	4,0	165,6
2	68,8	4,5	309,6
3	54,6	5,0	273,0
4	58,6	5,0	293,0
5	-	5,0	-
Somatório	223,4	23,5	1041,2

FONTE: A autora (2019).

A FIGURA 21 e a TABELA 22 apresentam os pontos e dimensões das barreiras projetadas para o Hospital Vitória:

FIGURA 21 – PONTOS DA BARREIRA ACÚSTICA: HOSPITAL VITÓRIA



FONTE: A autora (2019).

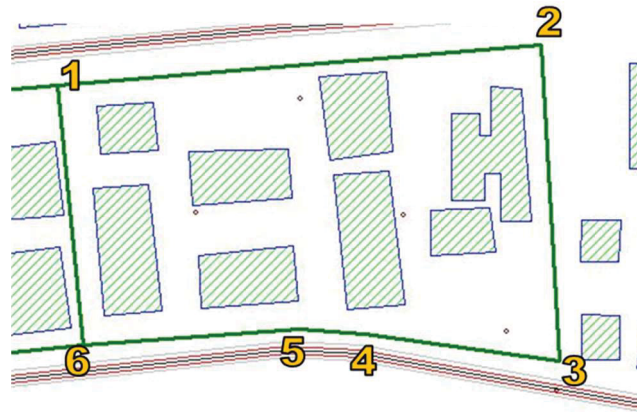
TABELA 22 – DIMENSÕES DA BARREIRA: HOSPITAL VITÓRIA

POSIÇÃO	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m²)
1	164,9	4,0	659,6
2	115,3	5,0	576,5
3	123,9	4,5	557,6
4	105,8	-	-
5	-	-	-
Somatório	509,9	13,5	1793,7

FONTE: A autora (2019).

A FIGURA 22 e a TABELA 23 apresentam os pontos e dimensões das barreiras projetadas para o Colégio Estadual de Ensino Fundamental e Médio Ivo Leão e para Escola Municipal Dom Bosco:

FIGURA 22 – PONTOS DA BARREIRA ACÚSTICA: COLÉGIO ESTADUAL E ESCOLA MUNICIPAL



FONTE: A autora (2019).

TABELA 23 – DIMENSÕES DA BARREIRA: COLÉGIO ESTADUAL E ESCOLA MUNICIPAL

POSICÃO	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m²)
1	195,4	3,5	683,9
2	-	-	-
3	79,7	4,5	358,7
4	26,4	4,5	118,8
5	86,9	3,0	260,7
6	-	-	-
Somatório	388,4	15,5	738,2

FONTE: A autora (2019).

A FIGURA 23 e a TABELA 24 apresentam os pontos e as dimensões das barreiras projetadas para o Complexo Educacional do Sistema FIEP/SESI/SENAI:

FIGURA 23 – PONTOS DA BARREIRA: COMPLEXO EDUCACIONAL DO SISTEMA FIEP/SESI/SENAI



FONTE: A autora (2019).

TABELA 24 – DIMENSÕES DA BARREIRA: COMPLEXO EDUCACIONAL DO SISTEMA FIEP/SESI/SENAI

POSIÇÃO	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m²)
1	196,3	4,5	883,4
2	58,5	4,5	263,3
3	140,6	3,5	492,1
4	105,0	4,0	420,0
5	109,6	5,0	548,0
6	29,4	5,5	161,7
7	174,2	6,0	1045,2
8	43,6	6,0	261,6
9	176,8	6,0	1060,8
10	-	-	-
Somatório	1034,0	45,0	5136,0

FONTE: A autora (2019).

A FIGURA 24 e a TABELA 25 apresentam os pontos e a dimensões das barreiras projetadas para o Centro Tecnológico da Universidade Positivo – Câmpus CIC:

FIGURA 24 – PONTOS DA BARREIRA: CENTRO TECNOLÓGICO DA UNIPOSITIVO



FONTE: A autora (2019).

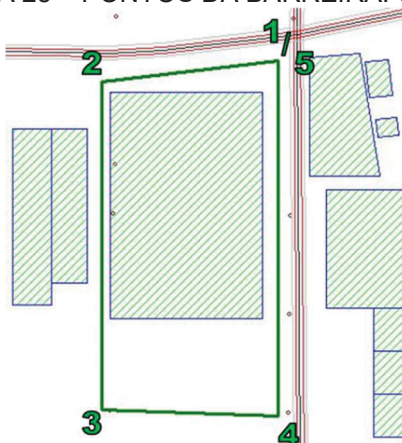
TABELA 25 – DIMENSÕES DA BARREIRA: CENTRO TECNOLÓGICO DA UNIPOSITIVO

POSIÇÃO	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m²)
1	-	-	-
2	186,2	3,5	651,7
3	45,3	3,5	158,6
4	-	-	-
5	-	-	-
Somatório	231,5	7,0	810,3

FONTE: A autora (2019).

A FIGURA 25 e a TABELA 26 apresentam os pontos e as dimensões das barreiras projetadas para o Centro de Educação Básica para Jovens e Adultos (CEEBJA) – CIC:

FIGURA 25 – PONTOS DA BARREIRA: CEEBJA



FONTE: A autora (2019).

TABELA 26 – DIMENSÕES DA BARREIRA: CEEBJA

POSIÇÃO	COMPRIMENTO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m²)
1	83,6	6,5	543,4
2	155,2	5,5	853,6
3	-	-	-
4	167,6	5,0	838,0
5	-	-	-
Somatório	406,4	17,0	2235,0

FONTE: A autora (2019).

Os resultados da implementação das barreiras nos pontos sensíveis são mostrados na TABELA 27:

TABELA 27 – NÍVEIS DE RUÍDO ANTES E APÓS IMPLEMENTAÇÃO DAS BARREIRAS

RECEPTOR	SEM BARREIRA	BLOCO CERÂMICO	DIFERENÇA
CEEBJA 1	71,1	54,7	16,4
CEEBJA 2	63,0	50,7	12,3
CEEBJA 3	52,8	50,9	1,9
Escolas 1	62,8	54,3	8,5
Escolas 2	55,6	54,6	1,0
Escolas 3	65,1	55,1	10,0
Escolas 4	57,4	54,0	3,4
Hospital 1	66,5	55,1	11,4
Hospital 2	63,0	54,9	8,1
Hospital 3	66,9	54,3	12,6
Hospital 4	58,5	53,2	5,3

(continuação)

RECEPTOR	SEM BARREIRA	BLOCO CERÂMICO	DIFERENÇA
Posto de Saúde 1	65,7	55,0	10,7
Posto de Saúde 2	68,1	54,7	13,4
Posto de Saúde 3	58,4	53,2	5,2
SENAI 1	60,5	55,0	5,5
SENAI 2	58,7	54,8	3,9
SENAI 3	60,9	53,2	7,7
SENAI 4	65,2	54,6	10,6
SENAI 5	62,5	55,1	7,4
SENAI 6	66,9	54,2	12,7
SENAI 7	59,3	55,1	4,2
SENAI 8	68,3	57,4	10,9
SENAI 9	64,5	54,2	10,3
SENAI 10	61,2	52,4	8,8
UNIPOSITIVO 1	57,2	55,6	1,6
UNIPOSITIVO 2	55,1	53,6	1,5
UNIPOSITIVO 3	57,8	53,1	4,7
UNIPOSITIVO 4	51,0	50,5	0,5

*Todas as unidades em dB(A).

FONTE: A autora (2019).

Com base na TABELA 27 observa-se atenuação do nível de ruído, este por sua vez é um resultado que releva a eficácia da aplicação de barreiras para atenuar tanto o ruído industrial, quanto o rodoviário.

Este capítulo teve como objetivo avaliar quantitativamente a implementação dos mapas de ruído, e avaliar o efeito da implementação de soluções mitigadoras para o ruído. Entretanto, não foi realizada ainda, uma comparação frente a legislação para verificar qualitativamente os efeitos práticos dessas medidas. Desse modo, no capítulo 6 adentra-se para estas etapas de discussão dos resultados num aporte mais abrangente.

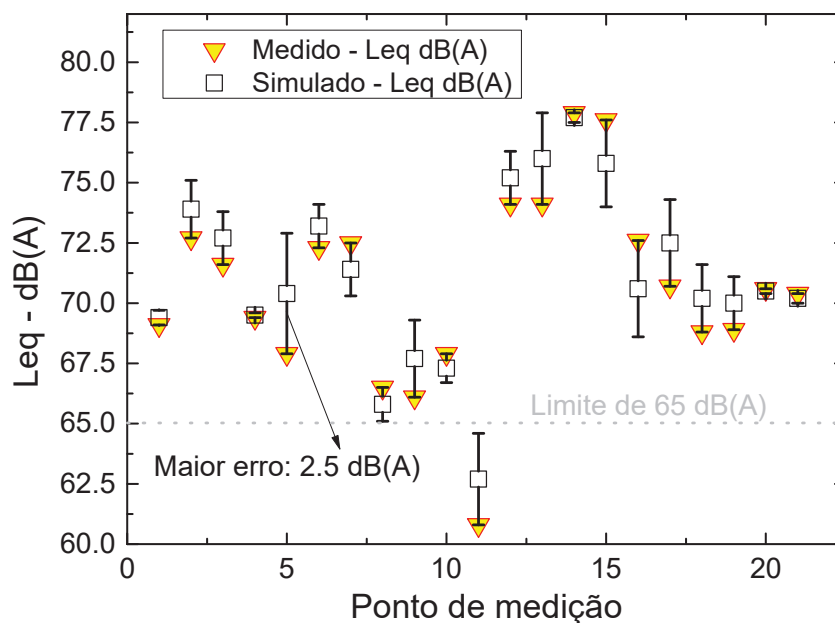
6. DISCUSSÃO

Este capítulo tem como objetivo comparar os resultados encontrados frente à literatura e traçar um comparativo com base nas normativas brasileira e a legislação do Município de Curitiba sobre os valores medidos e simulados nos estabelecimentos sensíveis.

6.1. AVALIAÇÃO DA CALIBRAÇÃO DO MODELO DE CÁLCULO

Com base nos valores da TABELA 8, calculou-se a curva de calibração do modelo desenvolvido no *software* SoundPlan 8.0. Entretanto, antes da aplicação da curva de calibração, avaliou-se na FIGURA 26 erro entre os valores medidos e simulados.

FIGURA 26 – ERRO DA SIMULAÇÃO FRENTE AOS VALORES MEDIDOS



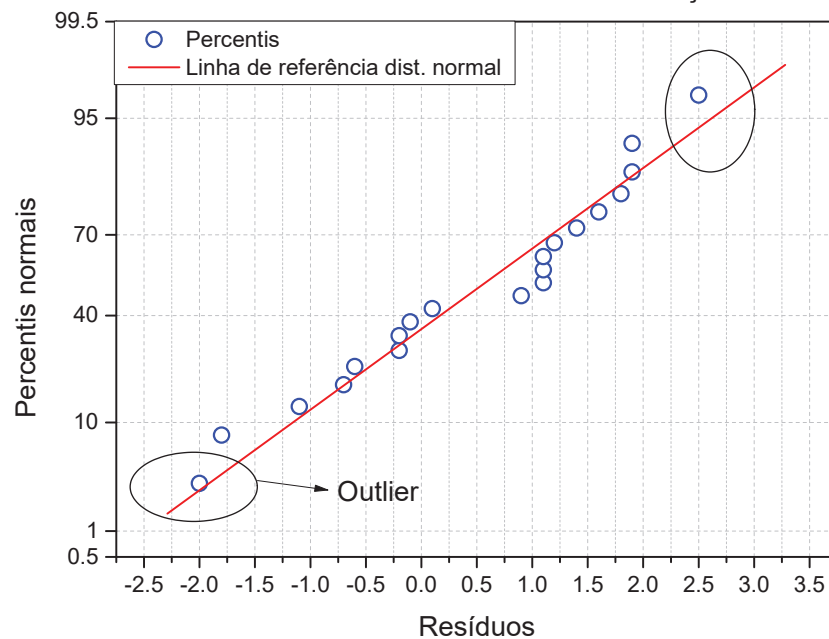
FONTE: A autora (2019).

Conforme mostra a FIGURA 26, o maior erro verificado esteve associado ao ponto de medição 5, sendo este erro de 2,5 dB(A). Segundo Guedes e Leite (2011), que elaboraram a Normativa de Boas Práticas de Modelagem de Mapas de Ruído adotada em Portugal, este erro estaria fora da faixa aceitável, de 2,0 dB(A). Porém, conforme evidenciado durante a revisão da literatura, ver seção 3.5, para a elaboração

de mapas de ruído existe uma vasta gama de fatores que podem comprometer, ou mesmo, aumentar a diferença entre os valores medidos e simulados. E neste sentido, não é incomum ter erros superiores a 5,0 dB(A), conforme mostrou a TABELA 3. Portanto, a diferença entre o valor medido e o simulado igual a 2,5 dB(A) para um ponto de medição e simulação é aceitável.

Ainda no contexto anterior, e não menos importante, mostra-se através da FIGURA 27 (gráfico da distribuição normal), que de fato, o valor de 2,5 dB(A) pode ser considerado um ponto fora da curva, ou em inglês, *outlier*. E dado o conjunto amostral, com 21 graus de liberdade, o valor de 2,5 dB(A) representa 1/21 do conjunto e não faz parte do limite 95% de confiança.

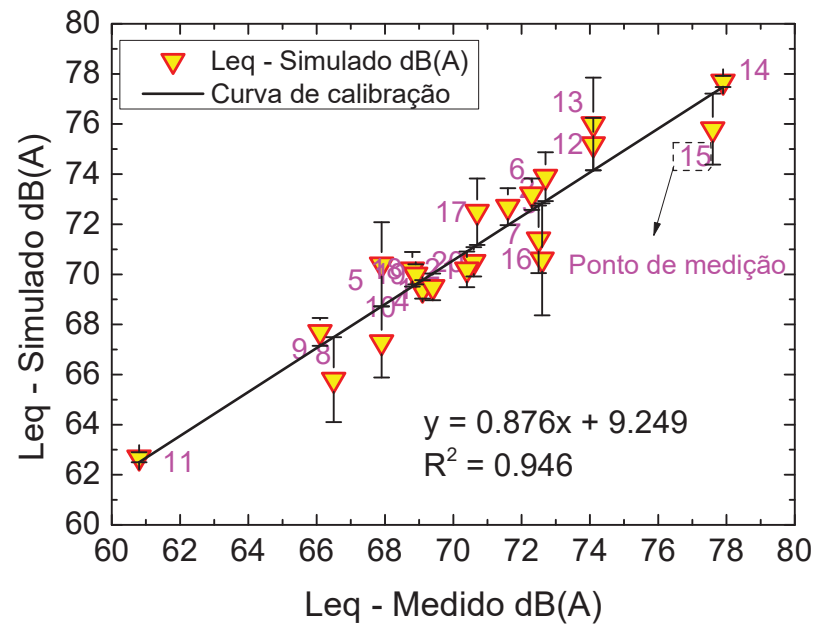
FIGURA 27 – AJUSTE DOS RESÍDUOS PARA DISTRIBUIÇÃO NORMAL



FONTE: A autora (2019).

A FIGURA 28 mostra a curva de calibração para mapeamento da região como um todo. Observa-se que a curva de calibração generaliza as estimativas de erros (resíduos) para englobar um modelo geral. Este modelo tem a capacidade de estimar em função do valor medido qual seria o valor simulado, sendo que o objetivo geral é obter um modelo que seja o mais linear possível. Assim, constata-se por inspeção na FIGURA 28, que o R^2 de 0,946 indica uma relação fortemente linear.

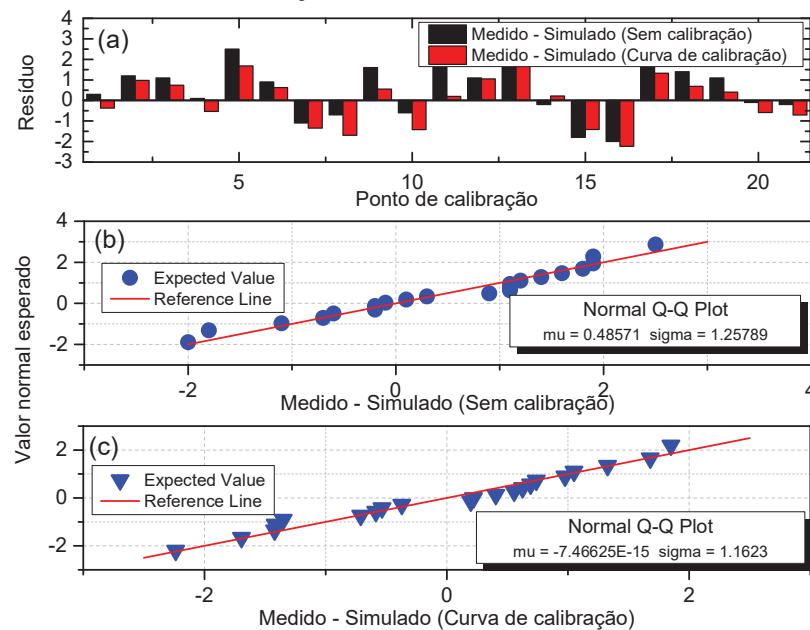
FIGURA 28 – CURVA DE CALIBRAÇÃO DA SIMULAÇÃO



FONTE: A autora (2019).

Por outro lado, os resíduos do modelo linear da curva de calibração são menores que os resíduos entre os valores medidos e simulados, que foram previamente mostrados na FIGURA 26. Esta constatação é observada na FIGURA 29:

FIGURA 29 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DO MODELO LINEAR



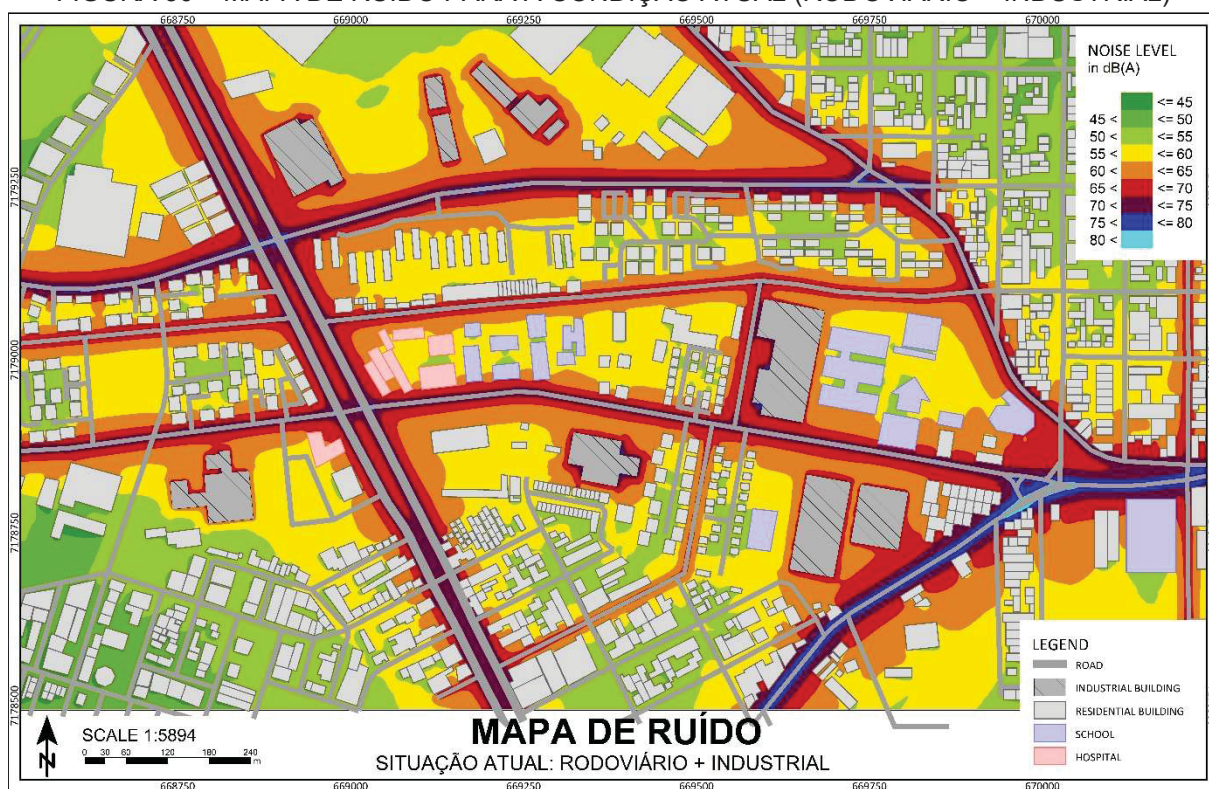
FONTE: A autora (2019).

Como implicação, o modelo linear gera simulações mais conservadoras, ou seja, minora os valores dos ruídos estimados.

6.2. AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO RODOVIÁRIO E INDUSTRIAL

A FIGURA 30 mostra o mapa de ruído da região de estudo para a condição atual, ou seja, no ano de 2019, considerando a composição dos ruídos industrial e rodoviário. Os mapas a seguir encontram-se fora de escala, eles são somente para avaliação qualitativa, uma vez que o tamanho da folha, A4 em retrato, não permite a visualização fidedigna, dessa forma, os mapas na escala padrão podem ser consultados nos Apêndices A ao E.

FIGURA 30 – MAPA DE RUÍDO PARA A CONDIÇÃO ATUAL (RODOVIÁRIO + INDUSTRIAL)



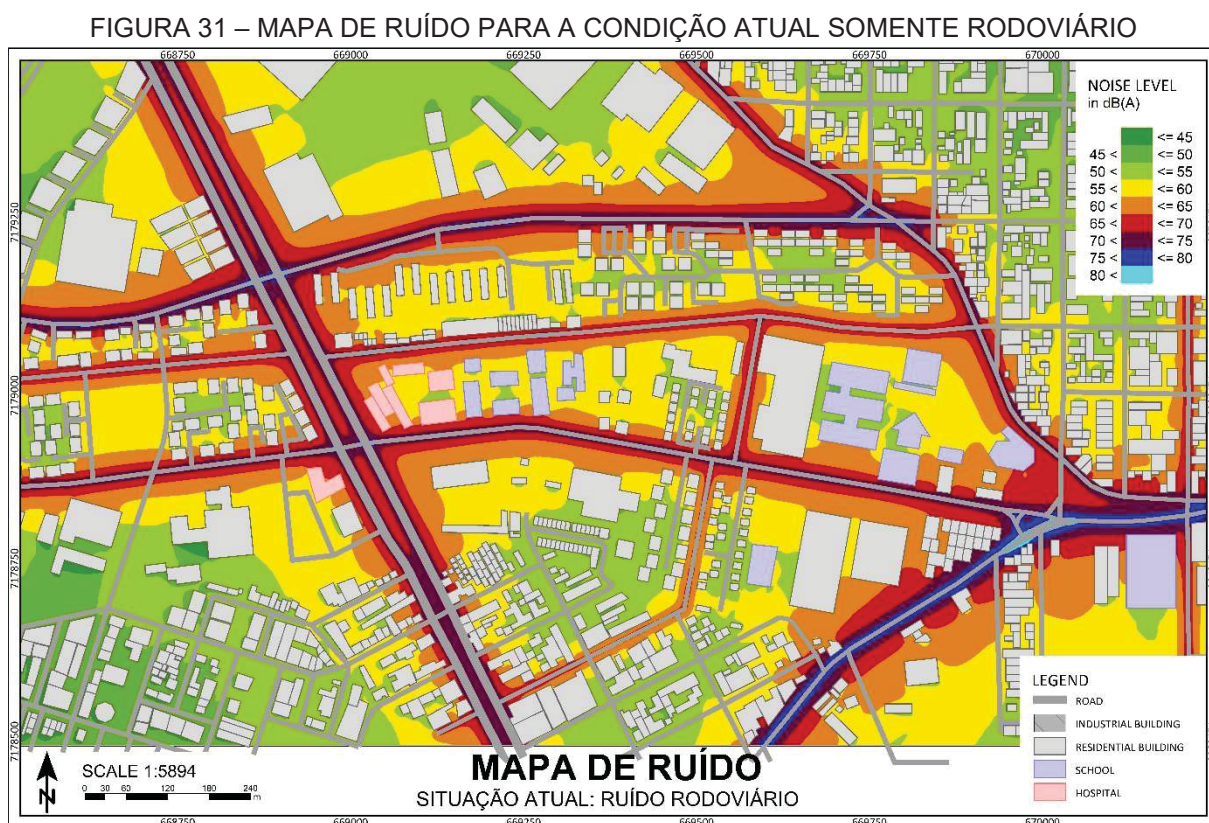
FONTE: A autora (2019).

Observado o QUADRO 1, apesar dos diferentes tipos de zoneamento e respectivos limites de nível de pressão sonora, nota-se na FIGURA 30 que nenhuma das zonas sensíveis analisadas têm um silêncio excepcional assegurado dentro do raio de 200 m. Quando observadas as especificidades de cada zona, em geral, as residências que circundam as vias analisadas também encontram-se desrespeitadas

pelos níveis de ruído superiores a 65 dB(A). Dos 21 pontos medidos *in situ*, 17 estão acima do limite permitido pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002, sendo o menor valor de 1,1 dB(A) e o maior de 22,9 dB(A). No mapa apresentado pela FIGURA 30, 18 dos pontos estão acima do permitido por lei, sendo o mínimo de 0,2 dB(A) e o máximo de 22,7 dB(A).

Em caso de ser considerado o zoneamento da NBR 10151/2019, como “Área predominantemente industrial”, ver QUADRO 2, um grande número de residência que cercam as vias medidas têm seu sossego perturbado, com nível de ruído acima de 70 dB(A). Caso considerada como “Área mista predominantemente residencial”, a parcela de edificações residenciais afetadas aumenta. Em última análise, analisada como “Área estritamente residencial urbana ou de hospital ou de escolas”, pode-se dizer que os níveis de ruído estão até 25 dB(A) acima do limite recomendado.

A parcela do ruído rodoviário para a formação do mapa da FIGURA 30 é consolidada na FIGURA 31:

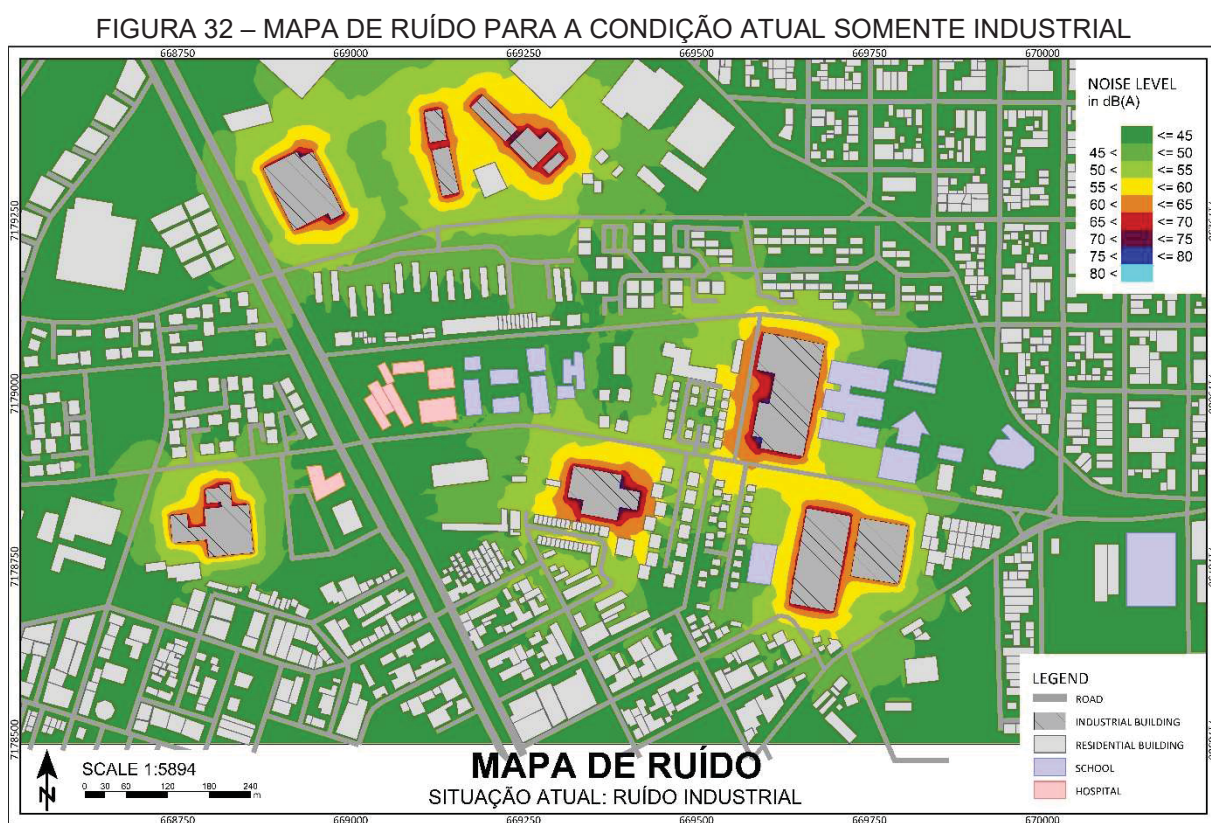


FONTE: A autora (2019).

Quando analisado apenas o ruído rodoviário, as zonas sensíveis seguem sem o silêncio excepcional respeitado, se considerarmos a Lei Municipal de Curitiba nº

10.625 de 2002. As edificações próximas as vias analisadas também encontram-se desrespeitadas pelos níveis de ruído superiores a 65 dB(A). Se comparado os 21 pontos de calibração, 18 pontos estão acima do permitido por lei, sendo o mínimo de 0,1 dB(A) e o máximo de 22,7 dB(A).

Sob a ótica da NBR 10151/2019, se categorizarmos a região de estudo como “Área predominantemente industrial”, apenas as edificações que faziam ruas como Pedro Gusso, Professor Algacyr Munhoz Mader e Avenida das Indústrias estão acima do recomendado. Sob a ótica da “Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas”, os valores simulados estão até 25 dB(A) acima do recomendado pela NBR 10151/2019. A FIGURA 32 mostra somente o ruído industrial na região estudada.



FONTE: A autora (2019).

Atendendo a Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002, quando considerado apenas o ruído industrial, 4 zonas sensíveis têm seu direito ao silêncio assegurado. Todavia, o ruído de um dos prédios da gráfica de grande porte atinge a fachada oeste de uma das edificações do Complexo Educacional do Sistema FIEP/SESI/SENAI; bem como a outra edificação da gráfica atinge a fachada leste do Centro Tecnológico

da Universidade Positivo. Quando comparados os 21 pontos de calibração e os limites permitidos por lei, todos estão abaixo do limite.

No caso de considerada a NBR 10151/2019, “Área estritamente residencial urbana ou de hospital ou de escolas”, além das duas zonas críticas citadas anteriormente, também são prejudicadas as edificações do Colégio Estadual e da Escola Municipal.

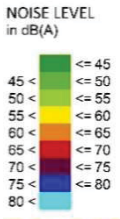
Os valores da poluição sonora analisados estão em concordância com os resultados encontrados nos grandes centros urbanos, na medida que se mostram acima dos valores mínimos recomendados. Do mesmo modo, Morley et al. (2015) já revelaram em seus estudos que na realidade pode-se considerar que o ruído nos centros urbanos é caracterizado como uma epidemia.

6.3. SIMULAÇÕES DE CONDIÇÕES FUTURAS

Para verificar qual o efeito do aumento anual do número de veículos na região estudada tem sobre o nível de ruído, simulou-se os mapas de ruído para os anos de 2024, 2029, 2034, 2039, 2044 e 2049. Os dados de entrada para a quantidade do fluxo veicular para as simulações no *software* SoundPlan 8.0 foram extraídos das TABELA 14, TABELA 15 e TABELA 16 referentes a extrapolação linear do crescimento da frota. A FIGURA 33 condensou graficamente toda a evolução dos níveis ruído para a região de estudo conforme a variação dos anos:

FIGURA 33 – PREDIÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO FUTURO

a) Escala de cores



b) Ano 2024



c) Ano 2029



d) Ano 2034



e) Ano 2039



f) Ano 2044



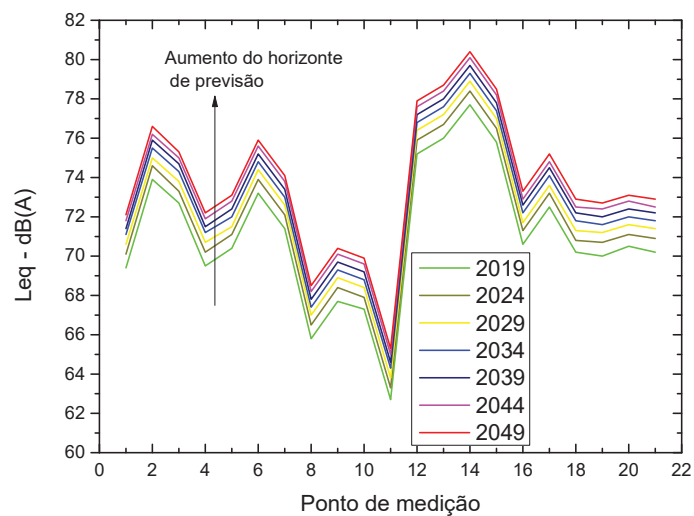
g) Ano 2049



FONTE: A autora (2019).

Com base na análise da FIGURA 33 percebe-se visualmente que os níveis de ruído aumentaram, sendo isso evidenciado pela simultânea redução das regiões verdes (níveis abaixo de 50 dB(A)) e o aumento das regiões em tons escuros. Nas vias de tráfego intenso observou-se que os níveis superaram 80 dB(A). Quantitativamente a FIGURA 34 e a FIGURA 35 mostram a dispersão dos níveis de ruído conforme o aumento do horizonte de predição temporal:

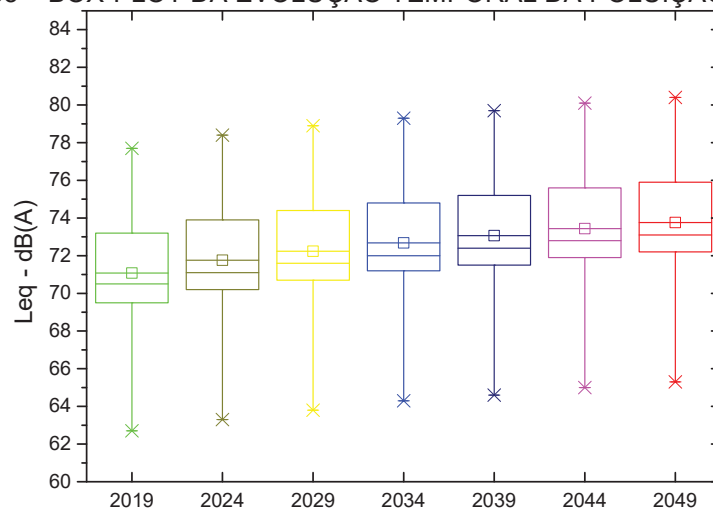
FIGURA 34 – AUMENTO DO NÍVEL DE RUÍDO AO LONGO DO ANOS



FONTE: A autora (2019).

Para tornar a comparação do nível de ruído em função da evolução dos anos, a FIGURA 35 mostra o box-plot dos dados da FIGURA 34.

FIGURA 35 – BOX-PLOT DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DA POLUIÇÃO SONORA



FONTE: A autora (2019).

Constata-se que por meio da FIGURA 35 o nível de ruído médio aumentou 2,0 dB(A) entre 2019 e 2049. Ressalta-se que o aumento de 2,0 dB(A) está em escala logarítmica, mas em escala decimal este aumento de 2,0 dB(A) é considerável.

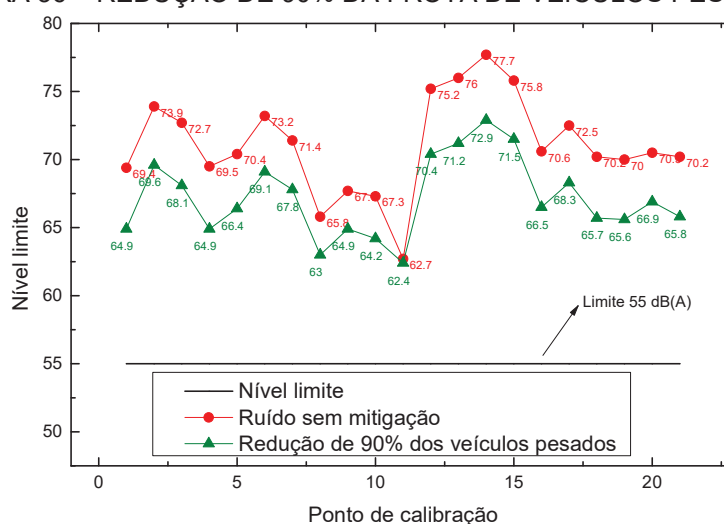
Ögren, Molnár e Barregard (2018), observaram também que a exposição a elevados níveis de ruído rodoviário na fachada de edifícios está continuamente aumentando, tanto devido à urbanização quanto devido ao aumento geral fluxo do tráfego. A exposição ao ruído foi estimada em vários cenários diferentes para o período de 2015 a 2035. Perante tal contexto, dada a observação da poluição sonora foi proposta na seção 6.4 a avaliação de medidas mitigadoras.

6.4. PROJETO DAS SOLUÇÕES MITIGADORAS

Com a constatação da manifestação da poluição sonora, propôs-se as seguintes soluções mitigadoras: a) Redução de 90% da frota de veículos pesados; b) Redução de 25% da frota total de veículos; c) Aplicação de barreiras acústicas.

A FIGURA 36 mostra o comparativo entre a situação atual e a situação posterior, ou seja, a aplicação da solução mitigadora de redução de 90% da frota de veículos pesados.

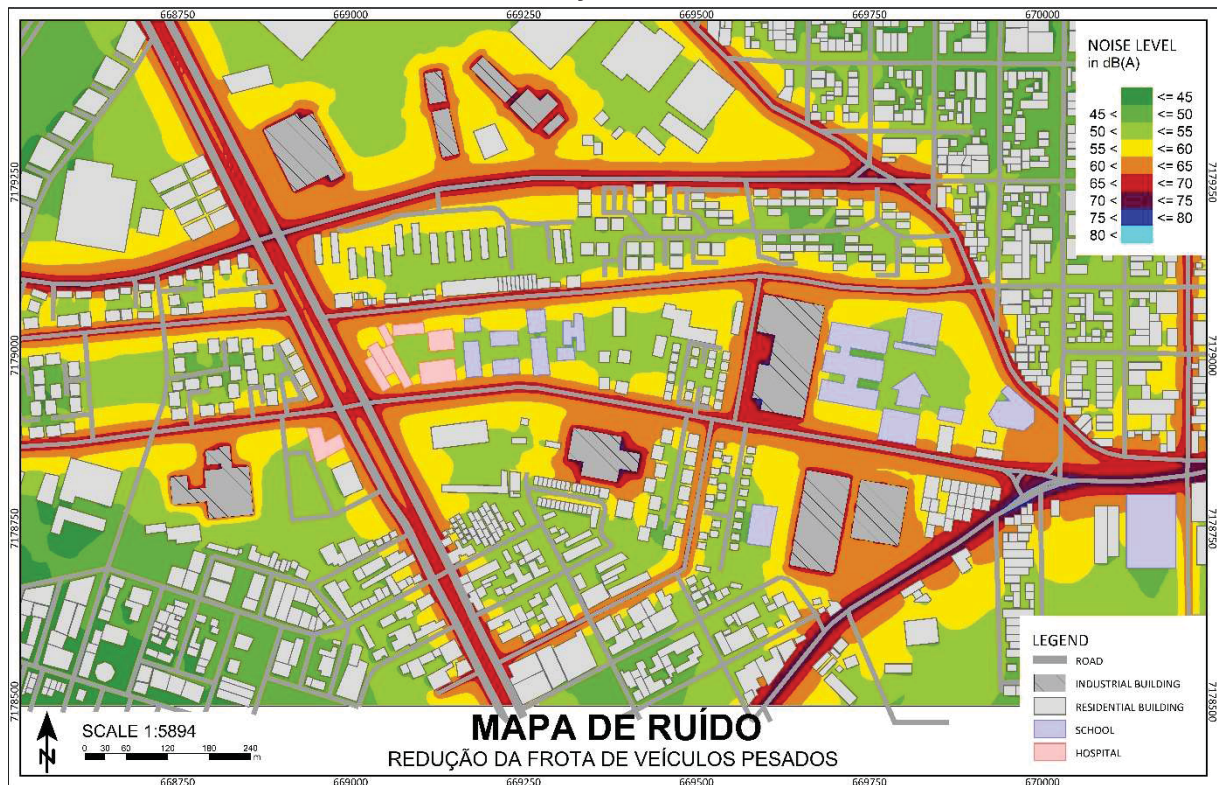
FIGURA 36 – REDUÇÃO DE 90% DA FROTA DE VEÍCULOS PESADOS



FONTE: A autora (2019).

Tal abordagem pode ser vista na FIGURA 37, como segue:

FIGURA 37 – MAPA DE RUÍDO APÓS REDUÇÃO DE 90% DA FROTA DE VEÍCULOS PESADOS



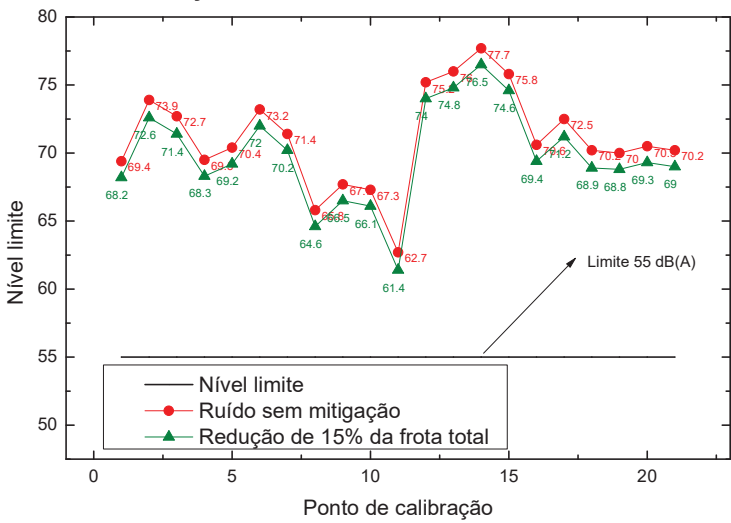
FONTE: A autora (2019).

Nota-se na FIGURA 37 que, ainda, nenhuma das zonas sensíveis indicadas têm um silêncio excepcional respeitado. Nas edificações residenciais e demais imóveis próximos às vias analisadas, percebe-se uma diferença do cenário atual na redução de um nível na escala de cor. Entretanto, observada a TABELA 20, dos 21 pontos de controle, 12 continuam acima do permitido pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002 após a redução da frota de veículos pesados.

Levando em conta o zoneamento da NBR 10151/2019, como “Área predominantemente industrial”, as edificações que cercam a rua Pedro Gusso ainda não têm seu sossego perturbado, com nível de ruído acima de 65 dB(A). Quando analisada como “Área estritamente residencial urbana ou de hospital ou de escolas”, pode-se dizer que os níveis de ruído estão até 20 dB(A) acima do limite recomendado.

A FIGURA 38 mostra os níveis para a redução de 25% da frota total:

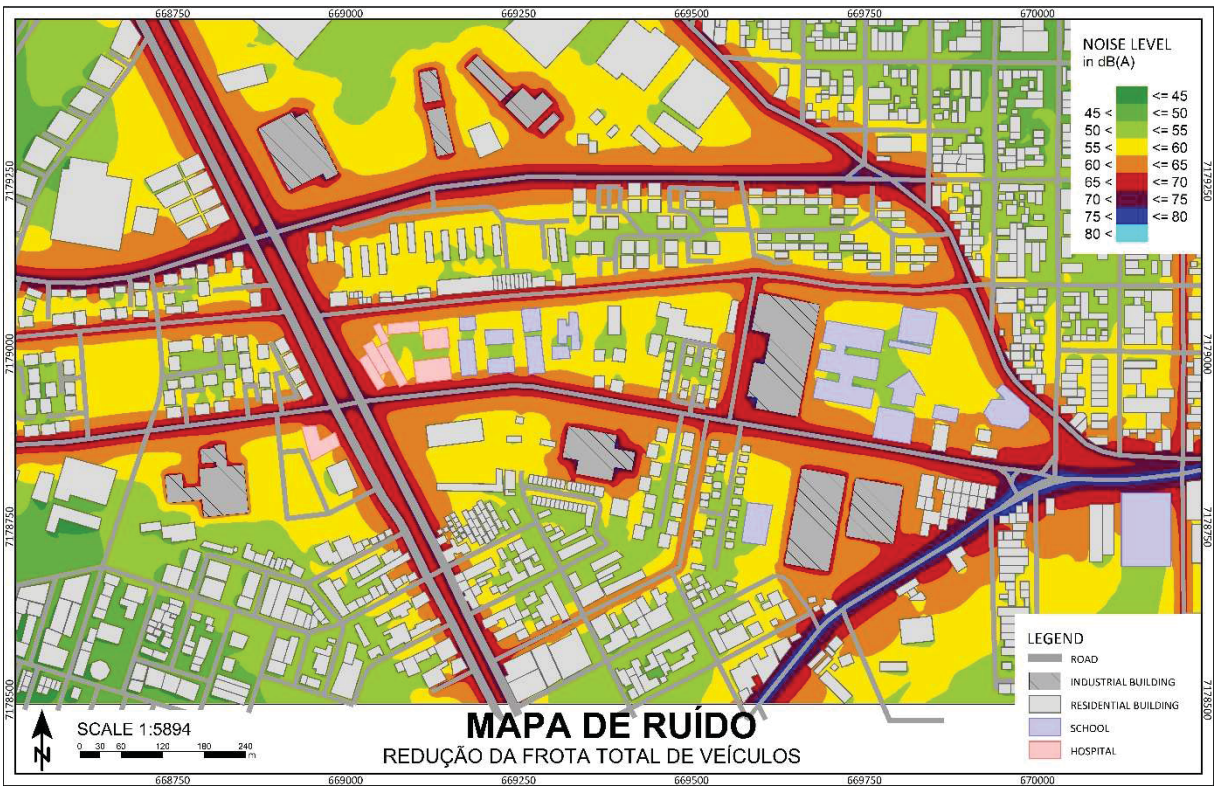
FIGURA 38 – REDUÇÃO DE 25% DA TOTAL FROTA DE VEÍCULOS



FONTE: A autora (2019).

Tal abordagem pode ser mostrada na FIGURA 39:

FIGURA 39 – MAPA DE RUÍDO APÓS REDUÇÃO DE 25% DA FROTA TOTAL DE VEÍCULOS



FONTE: A autora (2019).

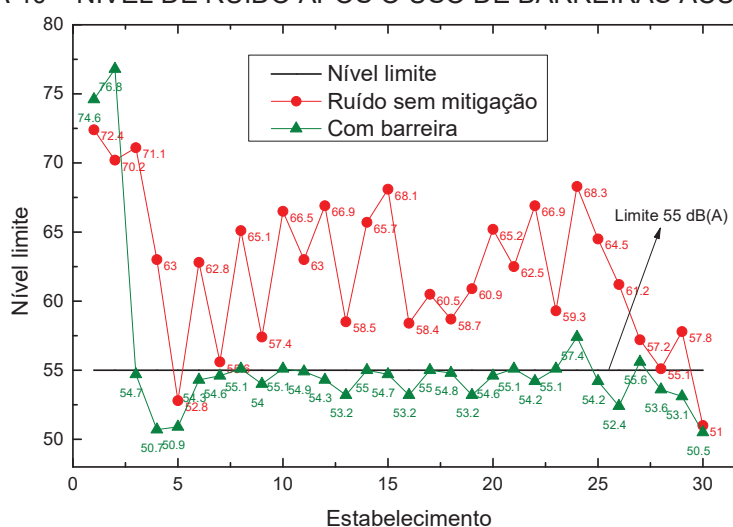
Na FIGURA 37 nenhuma diferença é observada no que diz respeito ao direito ao silêncio excepcional das zonas sensíveis. Nas edificações residenciais e demais

imóveis próximos às vias analisadas, percebe-se pouca diferença do cenário atual. Em geral, as residências que circundam as vias analisadas continuam desrespeitadas pelos níveis de ruído superiores a 65 dB(A). Pode-se afirmar que não houve diferença, quando comparado ao cenário atual. Observada a TABELA 20, dos 21 pontos de controle, 15 continuam acima do permitido pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002 após a redução da frota total de veículos.

A redução do tráfego configura-se como uma medida mitigadora operacional, que poderia ser aplicada pelo poder público e sem caráter imediatista. De tal modo, com os resultados da FIGURA 36 e FIGURA 38, têm-se o comparativo entre os resultados destas duas abordagens que dependeram da redução do tráfego. Verifica-se que, a medida mais eficaz foi a redução de 90% da frota de veículos pesados. A maior redução foi de 4,6 dB(A), porém, mesmo com tal redução todos as zonas críticas ainda se encontram com o nível de ruído superior ao limite de 55 dB(A). Por fim, constatou-se que um aumento da poluição sonora se torna ainda mais prejudicial a comunidade como um todo.

Para a avaliação das barreiras foi projetada a aplicação de barreiras de bloco cerâmico com altura variável, em cada uma das zonas sensíveis, conforme mostrou os resultados da TABELA 27. Os resultados da aplicação da barreira são mostrados na FIGURA 40:

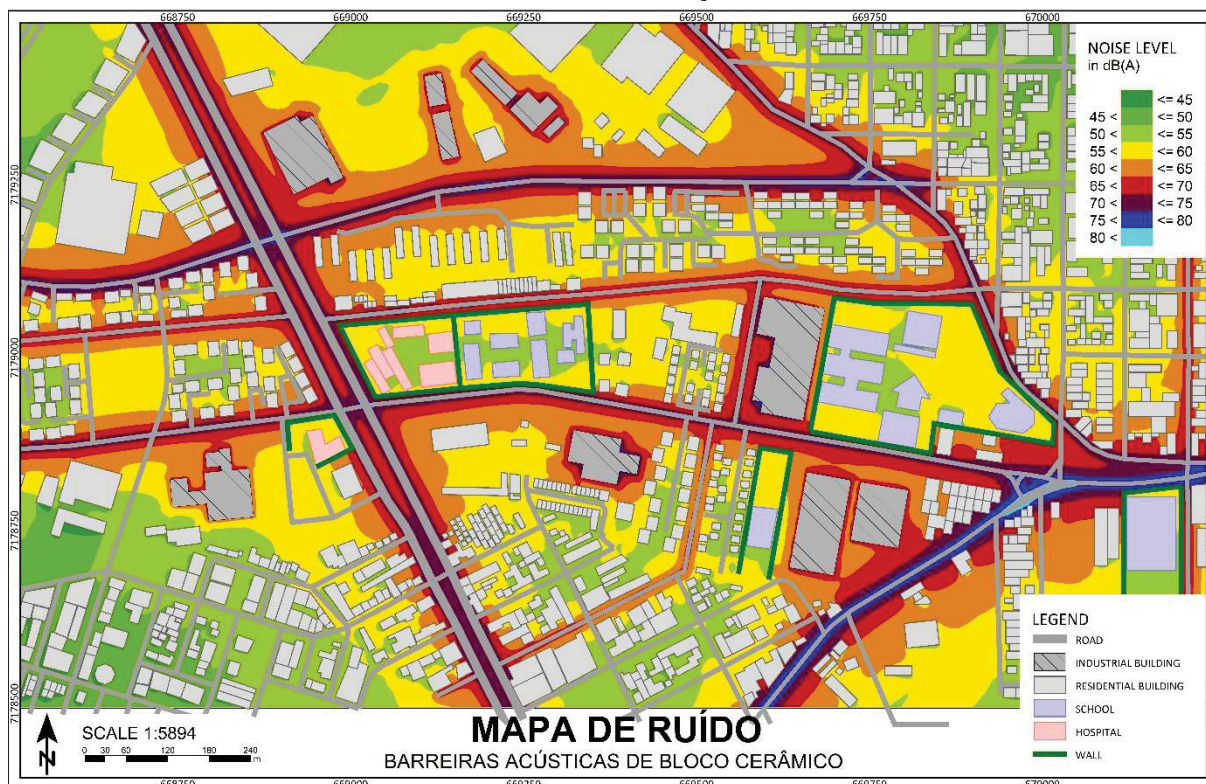
FIGURA 40 – NÍVEL DE RUÍDO APÓS O USO DE BARREIRAS ACÚSTICAS



FONTE: A autora (2019).

A FIGURA 41 mostra o mapa de ruído após a aplicação das barreiras nos pontos sensíveis:

FIGURA 41 – MAPA DE RUÍDO APÓS IMPLANTAÇÃO DAS BARREIRAS ACÚSTICAS



FONTE: A autora (2019).

Uma vez que as barreiras foram projetadas para atender o limite de 55 dB(A) nas zonas sensíveis, se por um lado adotou-se como material o bloco cerâmico pela viabilidade construtiva, baixo custo unitário, bom desempenho acústico, em contrapartida, a altura das barreiras ficou sujeita a valores pouco exequíveis. O comprimento total das barreiras implantadas foi de 2793,6 m, possuindo uma área de 11754,3 m² e variação de altura de 3 a 6,5 m. A redução máxima de ruído foi de 16,4 para o ponto CEEBJA 1, e dos 31 pontos correspondentes às zonas sensíveis, 29 estão dentro dos valores estipulados pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002. Ainda assim, não foi possível atingir o limite estabelecido por lei nos pontos SENAI 8 e UNIPOSITIVO 1.

Portanto, após a implementação da terceira medida mitigadora, verificou-se que implantar as barreiras acústicas para atenuar os ruídos externos às edificações consideradas sensíveis foram efetivas, em contraponto às medidas de redução do tráfego que não foram efetivas.

7. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar a composição da poluição sonora resultante dos ruídos rodoviário e industrial fazendo uso de medições *in situ* e via o emprego do mapeamento de ruídos aplicando o *software* SoundPlan 8.0. Com isto, buscou-se caracterizar e identificar o efeito em conjunto das duas fontes de ruído que foram, o ruído rodoviário e o ruído industrial.

Verificou-se que o ruído industrial impactou na comunidade de forma mais pontual, ou veja, na circunvizinhança em certa faixa limítrofe com nas residências, escolas, hospitais e demais imóveis. Contudo, quando se verifica o ruído rodoviário, constatou-se que este é um problema de maior abrangência. Todavia, tanto o nível do ruído rodoviário quanto o ruído industrial encontram-se acima dos valores máximos estipulados pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002, bem como dos limites recomendados pela NBR 10151/2019. De tal modo, a seguir foram consolidados os resultados principais obtidos:

- 1) Medição *in situ*: 17 pontos de controle, de um total de 21, estão acima do permitido pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002;
- 2) Mapas de ruído se provam confiáveis;
- 3) Composição dos ruídos rodoviário e industrial: 18 pontos de controle, de um total de 21, estão acima do permitido pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002;
- 4) Composição dos ruídos rodoviário e industrial: Quando avaliadas as zonas sensíveis, todos pontos estão acima do permitido pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002;
- 5) Ruído industrial: Todos os 21 pontos dentro do permitido pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002;
- 6) Ruído rodoviário: 17 pontos de controle, de um total de 21, estão acima do permitido pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002;
- 7) Áreas sensíveis são as mais afetadas;
- 8) Ruído rodoviário vs ruído industrial: Maior fonte de ruído é o rodoviário;
- 9) Estimativa de crescimento atesta a progressão do problema;
- 10) Redução de veículos pesados: 12 pontos de controle, de um total de 21, continuam acima do permitido pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002;

- 11) Redução da frota total de veículos: 15 pontos de controle, de um total de 21, continuam acima do permitido pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002;
- 12) Barreira de bloco cerâmico e altura variável: 2 pontos de controle, de um total de 28, continuam acima do pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002;
- 13) Medição de mitigação mais eficiente: Barreira acústica, seguida da redução da 90% dos veículos pesados e, a menos eficiente, redução de 25% da frota total de veículos.

Os resultados foram consistentes ao mostrar que se nenhuma ação for tomada no sentido de mitigar a poluição sonora, esta tenderá a um aumento significativo da poluição sonora, devido, sobretudo, ao natural aumento da frota veicular no Município de Curitiba.

De posse da constatação atual e futura da presença e da intensificação da poluição sonora, verificou-se que a opção mais viável a curto prazo para a implementação de solução seria o uso de barreiras acústicas nos pontos de recepção ou pontos emissores. Com isto, a iniciativa privada se mostra mais propícia a adotar as medidas no controle e redução do ruído.

7.1. SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Sugestão para próximos temas: 1) estudar a mudança de material que compõem as vias de tráfego; 2) avaliar o emprego de diferentes materiais nas barreiras; 3) alterar a localização das barreiras, como, por exemplo, colocar barreiras acústicas junto as fontes emissoras; 4) analisar mais profundamente as fontes de emissão dos ruídos nas indústrias.

REFERÊNCIAS

- AKPAN M.; OLUFEMI B.; OFFIONG M. O. Noise Pollution Assessment of Furniture Industries in Adamawa State, Nigeria. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, 13, 2013, Athens. **Proceeding**. Athens: 2013. p. 5-7.
- ALI, S. A. Industrial Noise Levels and Annoyance in Egypt. **Applied Acoustics**, v. 72, p. 221 – 225, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10151: Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral**. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR- 10152: Níveis de Pressão Sonora em Ambientes Internos e Edificações**. Rio de Janeiro, 2017.
- BERGLUND, B.; LINDVALL, T.; SCHWELA, D. H. **Guidelines for community noise**. Geneva: World Health Organization: Protection of the Human Environment, 1999. Diretrizes.
- BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. 1 ed. Editora Edgard Blucher, 2006.
- BOZKURT, T. S.; DEMIRKALE, S. Y. The field study and numerical simulation of industrial noise mapping. **Journal of Building Engineering**, v. 9, p. 60-75, 2017.
- BRÜEL & KJAER. **Urban noise planning and mapping**. Disponível em : <
<https://www.bksv.com/en/Applications/environment-noise-and-vibration/urban-noise-planning-and-mapping>>. Acessado em 20 mai. 2019.
- BUNN, F. ; ZANNIN, P. H. T. . Assessment of railway noise in an urban setting. **Applied Acoustics**, v. 104, p. 16-23, 2016.
- CAI, M. et al. Evaluation of road traffic noise exposure based on high-resolution population distribution and grid-level noise data. **Building and Environment**, v. 147, p. 211-220, 2019.
- CALIGIURI, L. M. The evaluation of uncertainty in environmental acoustic measurements according to the ISO 'Guide'. **Noise control engineering journal**, v. 55, n. 1, p. 116-132, 2007.
- CASAS, W. P.; CORDEIRO, E. P.; MELLO, T. C.; ZANNIN, P. H. T. Noise mapping as a tool for controlling industrial noise pollution. **Journal of Scientific & Industrial Research**, v. 73, p. 262-266, 2014.
- CELLI, A. M.; ZANNIN, P. H. T.; RIBAS, A. Os efeitos auditivos da prática do tiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS AMBIENTAIS E SAÚDE, 5, 2005. **Anais do CBPAS**. Santos, 2005.

COLLINS, T. W.; GRINESKI, S. E.; NADYBAL, S. Social disparities in exposure to noise at public schools in the contiguous United States. **Environmental research**, 2019.

COMISSÃO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 001, de 08 de março de 1990. Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política. **Diário Oficial da União**: nº 63, de 2 de abril de 1990, Seção 1, página 6408.

COMISSÃO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 002, de 08 de março de 1990. Dispõe sobre o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora <SILÊNCIO>. **Diário Oficial da União**: nº 63, de 2 de abril de 1990, Seção 1, página 6408.

CUNHA, M.; SILVA, N. Hospital noise and patients' wellbeing. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 171, p. 246-251, 2015.

DEBNATH, A.; SINGH, P. K. Environmental traffic noise modelling of Dhanbad township area—A mathematical based approach. **Applied Acoustics**, v. 129, p. 161-172, 2018.

DI, H. et al. Estimation of the quality of an urban acoustic environment based on traffic noise evaluation models. **Applied Acoustics**, v. 141, p. 115-124, 2018.

DO CARMO, L. I. C. **Efeitos do ruído ambiental no organismo humano e suas manifestações auditivas**. 1999. 45 f. Monografia (Especialização em Fonoaudiologia Clínica) – Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica – CEFAC, Porto Alegre, RS, 1999.

EUROPEAN COMMISSION WORKING GROUP ASSESSMENT OF EXPOSURE TO NOISE (WG-AEN). **Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure**. Version 2, p. 1-129, 2006.

EVEREST, F. A. **Master Handbook of Acoustics**. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

EZE, I. C. et al. Transportation noise exposure, noise annoyance and respiratory health in adults: A repeated-measures study. **Environment international**, v. 121, p. 741-750, 2018.

FAHY, F.; WALKER, J. **Fundamentals of Noise and Vibration**. New York: E & FN Spon, 1998.

FIEDLER, P. E. K.; ZANNIN, P. H. T. Evaluation of noise pollution in urban traffic hubs—Noise maps and measurements. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 51, p. 1-9, 2015.

FLEMING, G. G. ; KNAUER, H. S. ; LEE, C. S. Y. ; et al. **Noise Barrier Design Handbook**. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington D.C.: 2011.

GERGES, S. N. Y. **Ruído – Fundamentos e Controle**. Santa Catarina: Imprensa Universitária – Universidade Federal de Santa Catarina, 1992.

GUARNACCIA, C.; QUARTIERI, J.; RUGGIERO, A. Acoustical Noise Study of a Factory: Indoor and Outdoor Simulations Integration Procedure. **International Journal of Mechanics**, v. 8, p. 298-306, 2014.

GUEDES, M.; LEITE, M. J. Directrizes para elaboração de mapas de ruído. 3ª edição, **Agência Portuguesa do Ambiente**, 2011.

GUIDELINES ON DESIGN OF NOISE BARRIERS. 2 ed. Environmental Protection Department; Highways Department; Government of Hong Kong. Hong Kong: Jan. 2003.

GULLIVER, J. et al. Development of an open-source road traffic noise model for exposure assessment. **Environmental Modelling & Software**, v. 74, p. 183-193, 2015.

HAHAD, O. et al. Annoyance to different noise sources is associated with atrial fibrillation in the Gutenberg Health Study. **International journal of cardiology**, v. 264, p. 79-84, 2018.

HAN, X. et al. Analysis of the relationships between environmental noise and urban morphology. **Environmental pollution**, v. 233, p. 755-763, 2018.

HARRIS, C. M. Noise Control in Buildings. A Practical Guide for Architects and Engineers. McGraw-Hill, Inc., 1993.

HEPWORTH, P.; TROW, J.; HII, V. **Reference settings in noise mapping software—a comparison of the speed of calculation for different software**. In: Proceedings of Euronoise. 2006.

HONG, J. et al. Community annoyance toward transportation noise: Review of a 4-year comprehensive survey in Korea. **Applied Acoustics**, v. 139, p. 229-234, 2018.

HOPKINS, C. **Sound Insulation**. Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2007.

HORNIKX, M. Ten questions concerning computational urban acoustics. **Building and Environment**, v. 106, p. 409-421, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. . **ISO 9613**: Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation. Suíça, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico – 2010: Características da população e dos domicílios.**

Resultados do universo. População residente, por grupos de idade, segundo as Mesorregiões, as Microrregiões, os Municípios, os Distritos, os Subdistritos, os Bairros e a situação do domicílio – Paraná. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

JIANG, J.; LI, Y. Review of active noise control techniques with emphasis on sound quality enhancement. **Applied Acoustics**, v. 136, p. 139-148, 2018.

JÓNSSON, G. B.; JACOBSEN, F. A comparison of two engineering models for outdoor sound propagation: Harmonoise and Nord2000. **Acta Acustica united with Acustica**, v. 94, n. 2, p. 282-289, 2008.

KHAN, J. et al. Road traffic air and noise pollution exposure assessment—A review of tools and techniques. **Science of The Total Environment**, v. 634, p. 661-676, 2018.

KING, E. A.; MURPHY, E. Environmental noise—‘Forgotten’ or ‘Ignored’ pollutant?. **Applied Acoustics**, v. 112, p. 211-215, 2016.

KINSLER, L. E.; FREY, A. A.; COPPENS Alan B.; SANDERS James V. **Fundamentals of Acoustics**. 3 ed., USA, 1982.

KLOMPMAKER, J. O. et al. Associations of combined exposures to surrounding green, air pollution and traffic noise on mental health. **Environment International**, v. 129, p. 525-537, 2019.

KNUDSEN, V. O.; HARRIS, C. M. **Acoustical Designing in Architecture**. 4 impressão. John Wiley and Sons, Inc., 1955.

KOTZEN, B.; ENGLISH, C. **Environmental noise barriers: A guide to their acoustic and visual design**. London: e & Fn Spon, 1999. 165 p.

LERTSAWAT, K.; TANGJAITRONG, S.; AREEBHOL, P. Prediction of Noise Emission from Power Plant by a Mathematical Model. **Applied Acoustics**, v. 58, p. 469 – 477, 1999.

LEUNG, T. M. et al. Developing a multivariate model for predicting the noise annoyance responses due to combined water sound and road traffic noise exposure. **Applied Acoustics**, v. 127, p. 284-291, 2017.

LI, X. et al. Health impacts of construction noise on workers: A quantitative assessment model based on exposure measurement. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 721-731, 2016.

LICITRA, G.; MEMOLI, G. Limits and advantages of good practice guide to noise mapping. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 123, n. 5, p. 3033, 2008.

LONG, M. **Architectural Acoustics**. Elsevier Academic Press, 2006.

LOUPA, G. et al. Mapping the noise in a Greek general hospital. **Science of the Total Environment**, v. 646, p. 923-929, 2019.

MAYOR, S. Noise pollution: WHO sets limits on exposure to minimise adverse health effects. *BMJ*, p. 363:k4264, 2018.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Estatística: Frotas de veículos**. Disponível em: <<https://infraestrutura.gov.br/component/content/article/115-portal-denatran/8552-estat%C3%ADsticas-frota-de-ve%C3%ADculos-denatran.html>>. Acessado em 30 mai. 2019.

MIODUSZEWSKI, P. et al. Noise map validation by continuous noise monitoring. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 8, p. 582-589, 2011.

MISHRA, A. A.; KORI, R.; UPADHYAY N.; SAXENA A.; SHRIVASTAVA P. K.; KULSHRESHTHA A.; MISHRA, S. Ambient Air and Noise Pollution Study at Bhopal Vigyan Mela 2016, Madhya Pradesh, India. **Journal of Environment Pollution and Human Health**, v. 5, n. 1, 1-4, 2017.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 8 ed, John wiley & sons, 724 p. 2013.

MOREL, J.; MARQUIS-FAVRE, C.; GILLE, L.-A. Noise annoyance assessment of various urban road vehicle pass-by noises in isolation and combined with industrial noise: A laboratory study. **Applied Acoustics**, v. 101, p. 47-57, 2016.

MORLEY, D. W. et al. International scale implementation of the CNOSSOS-EU road traffic noise prediction model for epidemiological studies. **Environmental pollution**, v. 206, p. 332-341, 2015.

MURPHY, E.; KING, E. A. Scenario analysis and noise action planning: Modelling the impact of mitigation measures on population exposure. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 8, p. 487-494, 2011.

MURPHY, E.; KING, E. A. Strategic environmental noise mapping: Methodological issues concerning the implementation of the EU Environmental Noise Directive and their policy implications. **Environment international**, v. 36, n. 3, p. 290-298, 2010.

NILSSON, M. E.; ANDÉHN, M.; LÉSNA, P. Evaluating Roadside Noise Barrier Using an Annoyance-Reduction Criterion. **The Journal of the Acoustical Society of America**. 124, 3561 – 3567, Dez. 2008.

ÖGREN, M.; MOLNÁR, P.; BARREGARD, Lars. Road traffic noise abatement scenarios in Gothenburg 2015–2035. **Environmental research**, v. 164, p. 516-521, 2018.

OKOKON, E. O. et al. Traffic noise, noise annoyance and psychotropic medication use. *Environment international*, v. 119, p. 287-294, 2018.

OTTOZ, E.; RIZZI, L.; NASTASI, F. Recreational noise: Impact and costs for annoyed residents in Milan and Turin. **Applied Acoustics**, v. 133, p. 173-181, 2018.

OWOYEMI, M., FALEMARA, B. C., OWOYEMI, A. J. Noise Pollution and Control in Wood Mechanical Processing Wood Industries. **Biomedical Statistics and Informatics**, v. 2, Issue 2, p. 54-60, 2017.

PAIVA, K. M.; CARDOSO, M. R. A.; ZANNIN, P. H. T. Exposure to road traffic noise: Annoyance, perception and associated factors among Brazil's adult population. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 978-986, 2019.

PAZOS, D. F. P. **Caracterização da Reflexão Sonora de Barreiras Acústicas com Superfícies Corrugadas Periódicas**. 2015. 200 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

PENG, J.; PARNELL, J.; KESSISSOGLU, N. A six-category heavy vehicle noise emission model in free-flowing condition. **Applied Acoustics**, v. 143, p. 211-221, 2019.

PIERRETTE, M. et al. Noise annoyance from industrial and road traffic combined noises: A survey and a total annoyance model comparison. **Journal of environmental psychology**, v. 32, n. 2, p. 178-186, 2012.

PIRINCHIEVA, R. K. The Influence of Barrier Size on Its Sound Diffraction. **Journal of Sound and Vibration**. 148, 2, 183 – 192, 1991.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA – PMC, SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE – SMMA. Lei nº 10.625, de 19 de fevereiro de 2002: Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público e dá outras providências. Curitiba, 2002.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA – PMC, COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DE CURITIBA. **Histórico**. Disponível em: <<http://www.curitibasa.curitiba.pr.gov.br/>>. Acessado em 30 mai. 2019.

RIBAS, A. Reflexões sobre o ambiente sonoro na cidade de Curitiba: a percepção do ruído urbano e seus efeitos sobre a qualidade de vida de moradores dos setores especiais estruturais. 2007. 219 p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, 2007.

RICHTLINIEN FÜR DEN LÄRMSCHUTZ AN STRASSEN – RLS-90, Ausgabe. Der Bundesminister für Verkehr, 1990.

ROMEY, J. et al. Street categorization for the estimation of day levels using short-term measurements. **Applied acoustics**, v. 72, n. 8, p. 569-577, 2011.

ROSSING, T. D. **The Science of Sound**. 2 ed. Addison Wesley Longman, 1989.

SAKHVIDI, M. J. Z. et al. Association between noise exposure and diabetes: A systematic review and meta-analysis. **Environmental research**, v. 166, p. 647-657, 2018.

SCHWANNEN W.; PEETERS, B. In-situ Testing of Acoustical Properties of Noise Barriers. In: INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 45, 2016, Hamburg. **Anais**. DEGA – German Acoustical Society. p. 1 – 8.

SEARS, C. G. et al. The association of traffic-related air and noise pollution with maternal blood pressure and hypertensive disorders of pregnancy in the HOME study cohort. **Environment international**, v. 121, p. 574-581, 2018.

SOUNDPLAN GMBH, versão 8.0. 2019.

STANSFELD, S.; CLARK, C. Mental health effects of noise. Encyclopedia of Environmental Health, p. 683-689, 2011.

STANSFELD, S.; MATHESON, M. P. Noise pollution: non-auditory effects on health. **British medical bulletin**, v. 68, n. 1, p. 243-257, 2003.

STANSFELD, S.; CLARK, C. Health effects of noise exposure in children. **Current environmental health reports**, v. 2, n. 2, p. 171-178, 2015.

SUÁREZ, E.; BARROS, J. L. Traffic noise mapping of the city of Santiago de Chile. **Science of the total environment**, v. 466, p. 539-546, 2014.

SUN, K. et al. Classification of soundscapes of urban public open spaces. **Landscape and Urban Planning**, v. 189, p. 139-155, 2019.

TONNE, C. et al. Socioeconomic and ethnic inequalities in exposure to air and noise pollution in London. **Environment international**, v. 115, p. 170-179, 2018.

VALLE, S. **Manual Prático de Acústica**. 3 ed. Editora Música&Tecnologia, 2009.

VAN DEN BERG, F. **An overview of residential health effects in relation to wind turbine noise**. Fourth international meeting on wind turbine noise. Rome Italy; 12–14 April 2011. pp. 1–12.

WALLAS, A. E. et al. Traffic noise and other determinants of blood pressure in adolescence. **International journal of hygiene and environmental health**, 2019.

WANG, B.; KANG, J. Effects of urban morphology on the traffic noise distribution through noise mapping: A comparative study between UK and China. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 8, p. 556-568, 2011.

WANG, H.; CHEN, H.; CAI, M. Evaluation of an urban traffic Noise–Exposed population based on points of interest and noise maps: The case of Guangzhou. **Environmental Pollution**, v. 239, p. 741-750, 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Burden of disease from environmental noise - Quantification of healthy life years lost in Europe.** Dinamarca: European Centre for Environment and Health, 2011. Relatório técnico.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Environmental noise guidelines for the European region. 2018. Disponível em: <
http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf?ua=1>. Acessado em 20 de maio de 2019.

ZANNIN, P. H. T.; DINIZ, F. B.; BARBOSA, W. A. Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil. **Applied Acoustics**, v. 63, p. 351-358, 2002.

ZANNIN, P. H. T.; CALIXTO, A.; DINIZ, F. B.; FERREIRA, J. A.; SCHULLI, R. B. Incômodo causado pelo ruído urbano à população de Curitiba. **Revista da Saúde Pública**, v. 36, n. 4, 2002b.

ZANNIN, P. H. T.; SZEREMETTA, B.. Avaliação da poluição sonora no parque Jardim Botânico de Curitiba. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 19, n. 2, 2003.

ZANNIN, P. H. T.; DE SANT'ANA, David Queiroz. Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project—A case study in Brazil. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 8, p. 479-486, 2011.

ZANNIN, P. H. T. et al. Characterization of environmental noise based on noise measurements, noise mapping and interviews: A case study at a university campus in Brazil. **Cities**, v. 31, p. 317-327, 2013.

ZANNIN, P. H. T.; FERRAZ, Fernanda. Assessment of indoor and outdoor noise pollution at a university hospital based on acoustic measurements and noise mapping. **Open Journal of Acoustics**, v. 6, n. 4, 2016.

ZANNIN, P. H. T.. **Noise Pollution in Urban and Industrial Environments - Measurements and Noise Mapping.** 1. ed. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2016. v. 1. 342p.

ZANNIN, P. H. T. et al. Evaluation of Environmental Noise Generated by Household Waste Collection Trucks. **Journal of Environmental Assessment Policy and Management**, v. 20, n. 04, p. 1850010, 2018.

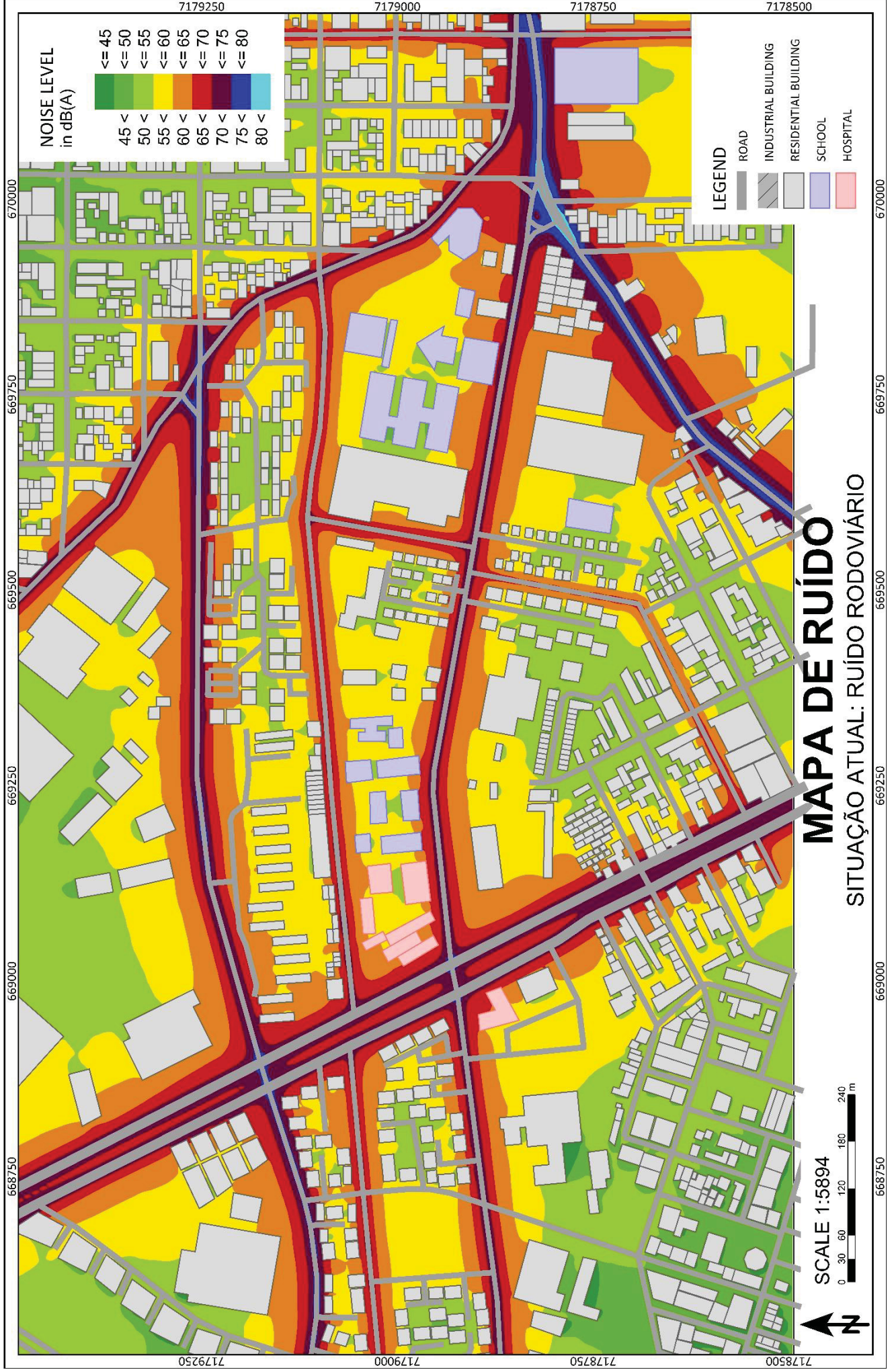
ZARE, S. et al. The Effect of Occupational Noise Exposure on Serum Cortisol Concentration of Night-shift Industrial Workers: A Field Study. **Safety and Health at Work**, v. 10, n. 1, p. 109-113, 2019.

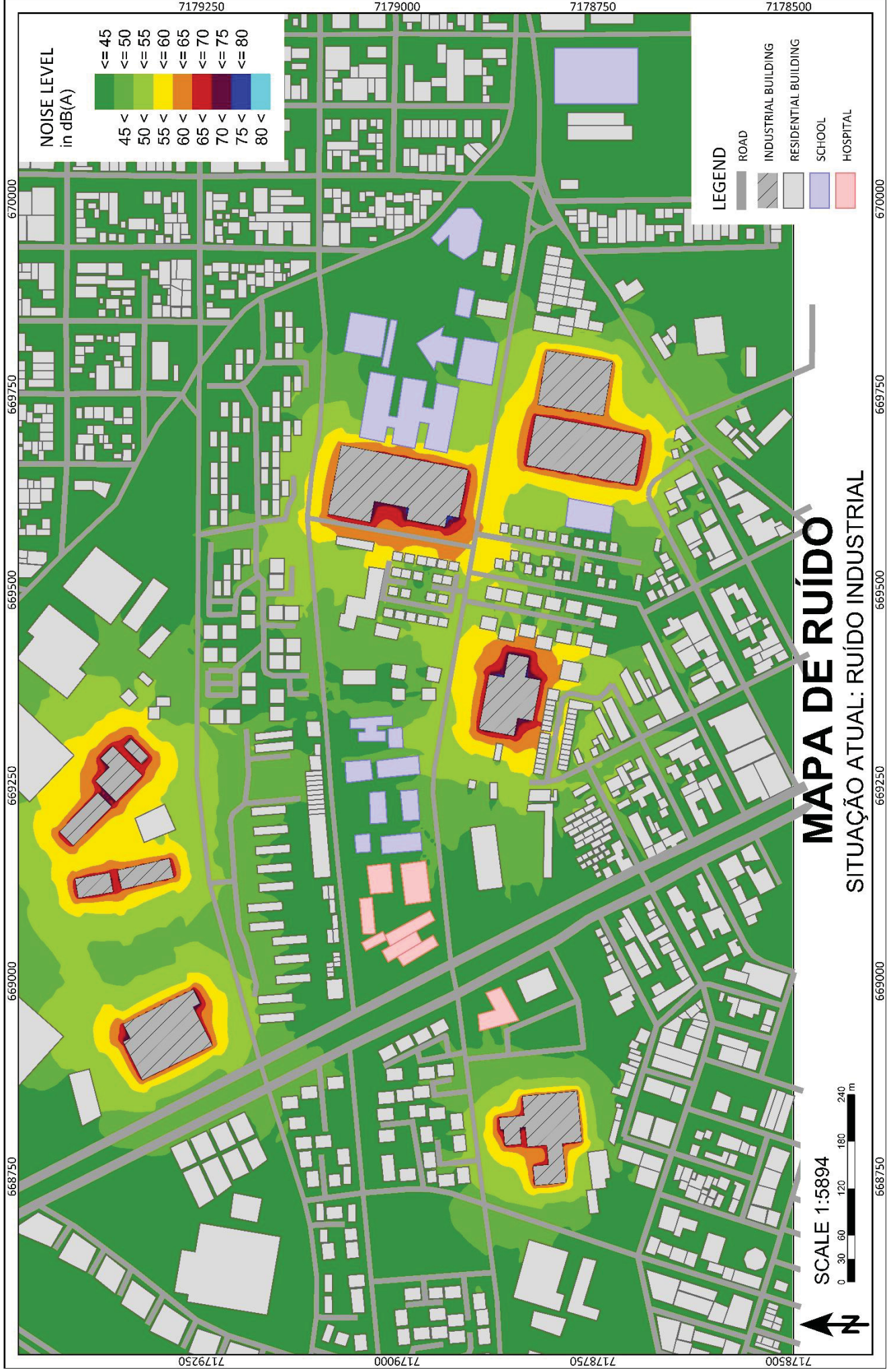
ZANNIN, P. H. T.; do Valle, F.; NASCIMENTO, E. O. Assessment of Noise Pollution along Two Main Avenues in Curitiba, Brazil. **Open Journal Of Acoustics**, v. 09, p. 26-38, 2019.



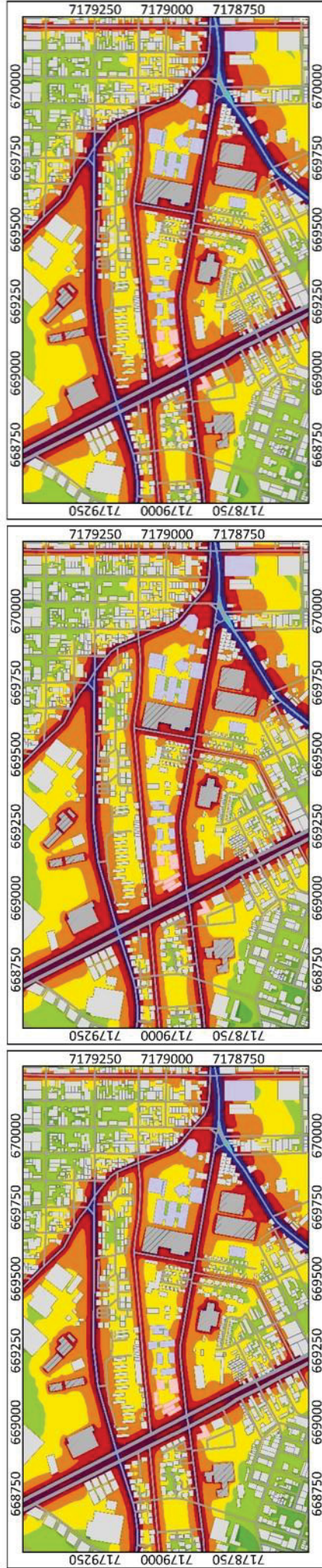
APÊNDICE B - MAPA DE RÚIDO DA SITUAÇÃO ATUAL: RÚIDO RODOVIÁRIO

113





APÊNDICE D – MAPA DE RUÍDO: PREVISÃO DE CRESCIMENTO DA FROTA DE VEÍCULOS – ANOS 2024 A 2049



2034

2029

2024



2049

2044

2039

LEGEND

- ROAD
- INDUSTRIAL BUILDING
- RESIDENTIAL BUILDING
- SCHOOL
- HOSPITAL

MAPA DE RUÍDO

PREVISÃO DE CRESCIMENTO DE FROTA DE VEÍCULOS



Scale 1:18309





